

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMÍA
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGRONÓMICAS



INFLUENCIA DE LA LÁMINA DE AGUA APLICADA
Y LA FRECUENCIA DE RIEGO; SOBRE LA CALIDAD Y RENDIMIENTO
DEL CULTIVO DE SÁBILA (*Aloe vera* (L.), Burm. F.)
EN LA ALDEA TIERRA BLANCA, GUASTATOYA, EL PROGRESO.

MÓNICA PATRICIA DEL CARMEN GARCÍA ORREGO

GUATEMALA, NOVIEMBRE 2017

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMÍA
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGRONÓMICAS

INFLUENCIA DE LA LÁMINA DE AGUA APLICADA
Y LA FRECUENCIA DE RIEGO; SOBRE LA CALIDAD Y RENDIMIENTO
DEL CULTIVO DE SÁBILA (*Aloe vera* (L.), Burm. F.)
EN LA ALDEA TIERRA BLANCA, GUASTATOYA, EL PROGRESO.

TESIS

PRESENTADA A LA HONORABLE JUNTA DIRECTIVA
DE LA FACULTAD DE AGRONOMÍA
DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
POR

MÓNICA PATRICIA DEL CARMEN GARCÍA ORREGO

En el acto de investidura como

INGENIERA AGRÓNOMA

EN

SISTEMAS DE PRODUCCIÓN AGRÍCOLA

EN EL GRADO ACADÉMICO DE

LICENCIADA

GUATEMALA, NOVIEMBRE 2017

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMÍA

RECTOR

Dr. CARLOS GUILLERMO ALVARADO CEREZO

JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMÍA

DECANO	Ing. Agr. Mario Antonio Godínez López
VOCAL PRIMERO	Dr. Tomas Antonio Padilla Cámara
VOCAL SEGUNDO	Ing. Agr. M.A. César Linneo García Contreras
VOCAL TERCERO	Ing. Agr. M.Sc. Erberto Raúl Alfaro Ortiz
VOCAL CUARTO	P. Agr. Walfer Yasmany Godoy Santos
VOCAL QUINTO	P. Contadora Neydi Yasmine Juracán Morales
SECRETARIO	Ing. Agr. Juan Alberto Herrera Ardón

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2017

Guatemala, noviembre 2017

Honorable Junta Directiva,
Honorable Tribunal Examinador,
Facultad de Agronomía,
Universidad de San Carlos de Guatemala.

Honorables miembros:

De conformidad con las normas establecidas por la Universidad de San Carlos de Guatemala, tengo el honor de someter a vuestra consideración el trabajo de tesis titulado:

INFLUENCIA DE LA LÁMINA DE AGUA APLICADA
Y LA FRECUENCIA DE RIEGO; SOBRE LA CALIDAD Y RENDIMIENTO
DEL CULTIVO DE SÁBILA (*Aloe vera* (L.), Burm. F.)
EN LA ALDEA TIERRA BLANCA, GUASTATOYA, EL PROGRESO.

Como requisito previo a optar el título de Ingeniera Agrónoma en Sistemas de Producción Agrícola en el grado académico de Licenciada.

Esperando que la presente investigación llene los requisitos necesarios para su aprobación, me suscribo.

Atentamente,

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

Mónica Patricia del Carmen García Orrego

TESIS QUE DEDICO:

- A MI PADRE Dr. Ernesto García, (Q.E.P.D.) por haberme enseñado que el éxito no se mide por la cantidad de bienes materiales que tenemos, sino por la cantidad de cariño acumulado a lo largo de nuestra vida. Gracias papa por ser un ejemplo de sencillez y generosidad.
- A MI MADRE Sara Orrego, quién con su ejemplo de trabajo duro me ha enseñado a seguir adelante a pesar de las adversidades, que me ha mostrado la satisfacción de culminar un trabajo bien hecho.
- A MI ESPOSO Marlon, Marlon Ernesto y Ana Luisa; por ser el núcleo de mi vida y el
E HIJOS impulso para continuar cada día dando lo mejor de mí.
- A MIS HERMANOS Julio, por apoyarme en todo momento, especialmente en los momentos difíciles y José Luis, por ser una guía, un ejemplo y un maestro para mí desde la infancia.
- A MI ABUELITO Ismael Orrego, (Q.E.P.D.) por ser un ejemplo de trabajo, sencillez y honestidad para todos sus nietos y por enseñarnos la importancia de la unión familiar.

AGRADECIMIENTOS:

- A DIOS Por darme la vida, a mi familia, guiar mi camino, proveerme de las capacidades necesarias para alcanzar mis metas y brindarme la oportunidad de poder culminar el día de hoy una de mis metas más importantes.
- A MIS PADRES Sara Margarita y Oscar Ernesto; por su amor incondicional, sus consejos y enseñanzas, su apoyo y su confianza en mí.
- A MI ESPOSO Ing. Marlon González, por todo su apoyo, amor y comprensión no solo a lo largo de este proceso de graduación, sino desde el principio de nuestra carrera.
- A SABILA S.A. Por abrirme sus puertas para realizar mi Ejercicio Profesional Supervisado, en donde tuve la oportunidad de conocer a personas valiosas e importantes como Don Oscar Bernardini (Q.E.P.D.), Iván Tejeda, Belarmino Oliva (Q.E.P.D.), Maribel Oliva y Guillermo Oliva entre otros, quienes me brindaron su total apoyo en la realización de proyectos y quienes al final del proceso se convirtieron en amigos entrañables.
- AL Dr. HEISLER GÓMEZ MENDEZ Compañero de aulas, quién me impulsó y me apoyó incansablemente para a culminar mi carrera a pesar de las adversidades encontradas en el camino.
- A LA FACULTAD DE AGRONOMÍA Por proporcionarme los medios y recursos necesarios para llevar a cabo mi formación profesional, así como también a todos los docentes que me brindaron sus conocimientos y experiencias.

ÍNDICE DE CONTENIDO

	Página
ÍNDICE DE CUADROS	iv
ÍNDICE DE FIGURAS	v
RESUMEN.....	vi
1. INTRODUCCIÓN	1
2. MARCO TEÓRICO	3
2.1. Marco conceptual.....	3
2.1.1. Cultivo de sábila (<i>Aloe vera</i> (L.), Burm. F.)	3
A. Aspectos taxonómicos	3
a. Clasificación botánica	3
b. Descripción taxonómica.....	3
B. Aspectos ecológicos	4
a. Hábitat	4
b. Altitud.....	4
c. Clima	4
d. Suelos.....	4
C. Establecimiento del cultivo.....	5
a. Propagación	5
b. Preparación del suelo	5
c. Sembrado y espaciamiento	6
d. Fertilización y suministro de nutrientes.....	6
e. Limpias	6
f. Riegos	6
g. Plagas y enfermedades	7
h. Cosecha y recolección.....	8
i. Rendimiento	8
D. Usos y potencial económico	8
a. Principios activos.....	8
b. Propiedades medicinales.....	9
c. Usos en medicina folklórica	9
d. Usos industriales	9
2.1.2. Frecuencia de riego	10

	Página
A. Definiciones	10
a. Potencial de agua en el suelo.....	10
b. Potencial de agua celular	11
c. Capacidad de campo (CC)	11
d. Punto de marchitez permanente (PMP).....	11
e. Humedad aprovechable o disponible a las plantas (HA)	12
f. Déficit permitido de manejo	13
B. Características y propiedades físicas del suelo relacionadas con el riego y el drenaje	13
a. Textura del Suelo.....	13
b. Estructura y porosidad del suelo.....	14
c. Densidad aparente del suelo (Da)	15
d. Velocidad de infiltración (I)	15
e. Conductividad hidráulica.....	15
C. Retención de humedad en el suelo.....	15
D. Zona de absorción	17
E. El agua en la planta	18
2.1.3. Fijación de CO ₂ en especies suculentas o Metabolismo Ácido de Las Crasuláceas (CAM).....	19
2.1.4. Estrés hídrico	19
2.2. Marco referencial	21
2.2.1. Ubicación geográfica de la aldea Tierra Blanca.....	21
2.2.2. Condiciones climáticas de la zona	22
2.2.3. Características del suelo.....	22
2.2.4. Análisis de la calidad del agua de riego.....	23
2.2.5. Grosor adecuado de la hoja de sábila para la elaboración del filete.....	24
3. OBJETIVOS.....	25
3.1. Objetivo General	25
3.2. Objetivos Específicos.....	25
4. HIPÓTESIS	26
5. METODOLOGÍA	27
5.1. Material experimental	27

5.2. Diseño experimental	27
5.3. Unidades experimentales	27
5.4. Tratamientos	28
5.5. Manejo del experimento	30
5.5.1. Trazo de las parcelas.....	30
5.5.2. Determinación de la velocidad de infiltración	30
5.5.3. Ejecución del riego.....	31
5.6. Variables de respuesta	32
5.7. Recolección de datos experimentales	32
5.7.1. Cosecha.....	32
5.7.2. Manejo post-cosecha	33
5.8. Análisis de datos experimentales	33
6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	34
6.1. Velocidad de infiltración del suelo de la parcela experimental	34
6.2. Ejecución del riego	36
6.3. Cosecha	38
6.3.1. Rendimiento en peso fresco	38
6.3.2. Grosor en la base de las hojas	38
6.3.3. Grados Brix.....	39
6.3.4. Kilogramos de producto concentrado.....	40
6.3.5. Kilogramos de hojas frescas por kilogramo de producto concentrado	41
6.4. Análisis estadístico	41
6.4.1. Análisis de varianza	42
6.4.2. Pruebas de Tukey.....	43
7. CONCLUSIONES	46
8. RECOMENDACIONES	47
9. BIBLIOGRAFÍA	48

ÍNDICE DE CUADROS

	Página
CUADRO 1. Datos climáticos para el departamento de El Progreso.....	22
CUADRO 2. Constantes de humedad y características físicas del suelo.....	22
CUADRO 3. Análisis de la muestra de agua del río Guastatoya, con la cual se regó.....	23
CUADRO 4. Grosor de las hojas de sábila y su relación con los grados Brix.	24
CUADRO 5. Descripción de los tratamientos.	28
CUADRO 6. Programa de riegos llevados a cabo en la parcela experimental.	29
CUADRO 7. Registro de datos para el cálculo de velocidad de infiltración e infiltración básica del suelo en la parcela experimental.	34
CUADRO 8. Tiempos de infiltración (ti) en minutos, para cada una de las láminas aplicadas en cada riego para todos los tratamientos.	35
CUADRO 9. Porcentaje de humedad en el suelo antes del riego (Psa) y láminas de humedad aplicadas (LHA).	36
CUADRO 10. Rendimiento en peso fresco de hojas de sábila en kg.	38
CUADRO 11. Grosor en la base de las hojas de sábila en cm.	39
CUADRO 12. Contenido de grados Brix en las hojas enteras de sábila.....	39
CUADRO 13. Cantidad de producto concentrado en kg.....	40
CUADRO 14. Kilogramos de hojas frescas para elaborar un kilogramo de concentrado.....	41
CUADRO 15. Análisis de Varianza para rendimiento en peso fresco de hojas de sábila en kg.	42
CUADRO 16. Análisis de Varianza para grosor de la base de las hojas de sábila en cm.....	42
CUADRO 17. Análisis de Varianza para contenido de grados Brix en las hojas enteras de sábila.	42
CUADRO 18. Análisis de Varianza para kilogramos de hojas frescas/kilogramo de producto concentrado.....	43
CUADRO 19. Prueba de Tukey para rendimiento en peso fresco de hojas de sábila en kg.	43
CUADRO 20. Prueba de Tukey para contenido de grados Brix en las hojas enteras de sábila.	44
CUADRO 21. Prueba de Tukey para kilogramos de hojas frescas/kilogramo de producto concentrado.....	44

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
FIGURA 1. Distribución del agua en el suelo.	12
FIGURA 2. Relaciones de ancho a profundidad humedecida en función de la textura del suelo.	14
FIGURA 3. Curvas de retención de humedad.	16
FIGURA 4. Cuadro típico de distribución radicular.	17
FIGURA 5. Acercamiento de la ubicación geográfica de la parcela experimental y la planta procesadora de la empresa Sábila, S.A. en la aldea Tierra Blanca, Guastatoya El Progreso.	21
FIGURA 6. Curva característica de retención de humedad correspondiente al suelo de la parcela experimental.	23
FIGURA 7. Distribución de las unidades experimentales.	28
FIGURA 8. Croquis de la parcela experimental.	31
FIGURA 9. Comportamiento de la humedad contenida en el suelo durante todo el período de la evaluación.	37

INFLUENCIA DE LA LÁMINA DE AGUA APLICADA Y LA FRECUENCIA DE RIEGO;
SOBRE LA CALIDAD Y RENDIMIENTO DEL CULTIVO DE SÁBILA (*Aloe vera* (L.), Burm.
F.) EN LA ALDEA TIERRA BLANCA, GUASTATOYA, EL PROGRESO.

INFLUENCE OF SHEET WATER AND IRRIGATION FREQUENCY; ON THE QUALITY
AND YIELD OF SABILA (*Aloe vera* (L.), Burm. F.) CROP IN TIERRA BLANCA VILLAGE,
GUASTATOYA, EL PROGRESO.

RESUMEN

Sábila (*Aloe vera* (L.), Burm. F.), es una planta perteneciente a la familia Liliaceae, xeróphyta de ciclo CAM, adaptada a las condiciones climáticas de la región del departamento de El Progreso en donde predomina la zona de vida Monte Espinoso Subtropical, siendo su cultivo una excelente alternativa para los agricultores, ya que gracias a la presencia de una planta procesadora y exportadora de sábila, este cultivo se ha vuelto comercial dentro de la región, la cual es una de las menos productivas del país en cuanto a agricultura se refiere.

Esta investigación consistió en someter a las plantas a un estrés hídrico con la finalidad de aumentar su contenido en grados Brix y con ello mejorar su calidad.

En el experimento se utilizó un diseño de bloques al azar con cinco tratamientos y cuatro repeticiones. Las variables de respuesta fueron: rendimiento en peso fresco de hojas, grosor en la base de las hojas, contenido de grados Brix y kilogramos de hojas frescas/kilogramos de producto concentrado.

Las variables evaluadas fueron sometidas a un análisis de varianza y luego de determinar su significancia, se les practicó una prueba de medias de Tukey para validar estadísticamente los resultados.

Los tratamientos con una frecuencia de riego de 7 días resultaron ser los más altos en rendimiento en peso fresco. Los tratamientos con frecuencias de riego de 21 y 28 días presentaron la mayor concentración de grados Brix y una relación de kilogramos de hojas frescas/kilogramos de producto concentrado más baja. Sin embargo en el grosor de la base de las hojas no se observaron diferencias significativas, haciendo posible la extracción de filetes de hoja en todos los tratamientos.

También se observó una relación inversa entre las variables de rendimiento en peso fresco y contenido de grados Brix, pues a medida que la frecuencia de riego se hacía más

espaciada, el rendimiento en peso fresco disminuía mientras que la concentración de grados Brix aumentaba.

Si lo que se busca es obtener hojas con buen peso sin que estas presenten una concentración de grados Brix muy baja, se recomienda utilizar frecuencias de riego de 14 días.

1. INTRODUCCIÓN

Sábila S.A. es una empresa que se dedica al procesamiento de las hojas de esta planta para su posterior exportación; está ubicada a la altura del kilómetro 70 de la carretera al Atlántico (CA-9), en Guastatoya, El Progreso. Esta empresa cuenta con una finca en donde cultiva su propia sábila (*Aloe vera* (L.), Burm. F.), y además le compra a pequeños productores de la región para poder abastecer su demanda.

La finca de la empresa está ubicada en la aldea Magdalena, San Agustín Acasaguastlán. Los pequeños productores están distribuidos en las aldeas Tierra Blanca y El Callejón, del municipio de Guastatoya y en la Finca El Tintero, municipio de El Júcaro; todos del departamento de El Progreso. Ubicándose todos dentro de la zona de vida Monte espinoso Subtropical, la cual se caracteriza por un clima con una precipitación que va de 600 mm a 800 mm anuales y temperatura promedio ≥ 25 °C, los cuales se encuentran dentro de los requerimientos climáticos del cultivo de sábila.

En la parcela experimental ubicada en la aldea Tierra Blanca se observó que durante la época seca, las hojas de las plantas se adelgazan y pierden peso, pero esto no representa un problema del todo porque dichas hojas poseen un elevado contenido de grados Brix en comparación con hojas turgentes de buen peso. Esto nos indica que cuando las plantas son sometidas por la naturaleza a un estrés hídrico, estas concentran sus contenidos, haciendo que sus hojas mejoren su calidad.

Los tratamientos evaluados consistieron en cuatro distintas frecuencias de riego en el cultivo de sábila, siendo éstas de 7, 14, 21 y 28 días. Además se evaluó un tratamiento testigo con una frecuencia de riego de 7 días, realizado artesanalmente por el propietario de la parcela experimental, que hacen un total de cinco tratamientos.

La sábila es un cultivo perenne que resiste muy bien las condiciones adversas del clima de la zona y es por ello que representa una buena alternativa para los agricultores, aumentando con ello sus ingresos económicos al aprovechar los recursos naturales como el suelo, que generalmente se mantiene ocioso debido a la escasez de agua y a la poca adaptabilidad de otros cultivos a las condiciones climáticas de la región.

Los riegos en la zona se realizan de una forma artesanal, sin tomar en cuenta datos de cantidad y calidad de agua, evapotranspiración del cultivo, permeabilidad del suelo, pendiente del terreno, etc además se sabe que el agua en esta región es un recurso muy limitado y por ello es muy importante hacer un uso eficiente de ella.

Al someter a las plantas a un estrés hídrico, no solo hacemos un uso más adecuado del agua, sino también obtenemos cosechas de mejor calidad ya que el contenido de grados Brix aumenta.

Uno de los objetivos de la investigación es determinar hasta qué punto se puede aumentar la concentración de grados Brix en las hojas, sin disminuir demasiado el rendimiento en peso fresco a través de someter a las plantas a un estrés hídrico y al mismo tiempo maximizar el recurso agua y utilizarlo de la manera más eficientemente posible.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Marco conceptual

2.1.1. Cultivo de sábila (*Aloe vera* (L.), Burm. F.)

A. Aspectos taxonómicos

a. Clasificación botánica

Reino: Plantae.
División: Magnoliophyta.
Clase: Liliopsida.
Orden: Liliales.
Familia: Liliaceae.
Género: Aloe.
Especie: *Aloe vera* (L.), Burm. F.
Sinónimo: *Aloe barbadensis*.
N. común: Sábila (MAGA, 1989).

b. Descripción taxonómica

Planta perenne, de rizoma largo, estolonífero; tallo muy corto; hojas arrosetadas, carnosas, erguidas, lanceolado-acuminadas, glaucas, aserradas, de dientes poco consistentes y doblados hacia arriba, de 50 cm a 60 cm de longitud por 8 cm o 10 cm de ancho en la base (Roque, 1941).

Si a las hojas se les hace un corte, exudan un líquido acuoso de sabor muy amargo, acumulado en las células secretoras que rodean la región cribosa ya que la pared celular que las separa es muy delgada, el jugo fluye con facilidad (Poder Natural, 2003).

Inflorescencia formada por un raquis de 1.0 m a 1.5 m, desnudo, liso y con una o dos ramificaciones laterales, terminando por espigas arracimadas; flores amarillas con listas verdosas y dirigidas hacia abajo y acompañadas de una bráctea membranosa, lanceolada, de color blanco rosado con líneas oscuras y de seis milímetros; pedúnculos cortos; perianto cilíndrico, ligeramente curvo, seis estambres hipogíneos de filamentos alesnados, anteras oblongas, introrsas, dorsifijas, introduciéndose el filamento en una cavidad; ovario

sésil, oblongo triangular, trilocular, estilo filiforme, estigma pequeño, óvulos numerosos; frutos abortados porque cae prematuramente toda la flor (Roque, 1941).

La sábila (*A. vera* (L.), Burm. F.) contiene un gel mucilaginoso obtenido del tejido del parénquima en el centro de la hoja; que se extrae con métodos químicos o mecánicos y es un producto muy variable en cuanto a sus propiedades (Wren, 1994).

B. Aspectos ecológicos

a. Hábitat

Es originaria de África Oriental y Meridional. Fue introducida a América por los Franciscanos españoles, seguramente a la isla de Barbados, de donde viene su nombre científico *Aloe barbadensis*. Habita en climas cálido, semicálido, seco, semiseco y templado. Está asociada con la selva tropical caducifolia, perennifolia y matorral xerófito (Poder Natural, 2003).

b. Altitud

La sábila se cultiva en alturas de 400 m a 2,500 m s.n.m., aunque en Cuba se obtienen buenos rendimientos en plantaciones a alturas inferiores a 400 msnm (Martínez, Bernal & Cáceres; 1996).

c. Clima

Prefiere clima seco, temperaturas entre 18 °C y 40 °C, precipitación pluvial de 400 mm a 2,500 mm anuales y humedad relativa de 65 % a 85 %. Según Grindlay (1986) *Aloe vera* (L.), Burm. F. no crece en bosques lluviosos ni en desiertos áridos. Aunque sobrevive bien a una sequía prolongada, pero durante esta etapa no crece (Martínez, Bernal & Cáceres; 1996). Necesita lugares cálidos ya que tienen poca resistencia al frío (Poder Natural, 2003).

d. Suelos

Crece en lugares soleados, terronosos, rocosos y pedregosos. Se desarrolla en cualquier tipo de tierra, pero es necesario que tenga buen drenaje. Prefiere suelos arenosos, franco

arenosos y franco arenoso-arcillosos, con suficiente materia orgánica. Se desarrolla en un pH ligeramente ácido (MAGA, 1989).

El ideal es el calcáreo, seco, arenoso y bien drenado como son los desérticos y la costa o cabecera de sierra. No crece en áreas pantanosas. En la estación experimental de plantas medicinales “Dr. Juan T. Roig”, Cuba, se realizó el estudio de tolerancia a la salinidad, encontrándose que la especie admite una concentración 6.25 molar de cloruro de sodio (Martínez, Bernal & Cáceres; 1996).

C. Establecimiento del cultivo

a. Propagación

Esta es una planta que se propaga en forma sexual y asexual. La propagación asexual es por medio de vástagos, bulbos o tallos de una planta vieja. La que más se recomienda es por medio de vástagos (a través de retoños de raíces), ya que la planta puede generar hasta 20 vástagos por cada planta, los cuales es necesario quitar de la planta madre o terminarán por consumir sus líquidos y nutrientes (MAGA, 1989).

Kindelán (1,990), encontró algunas medidas profilácticas para lograr la obtención de hijos con buenas condiciones fitosanitarias. En primer lugar, la poda radicular, eliminando toda la parte que aparezca necrosada, así como las hojas afectadas, dejando de 2-3 anillos de crecimiento. De esta manera, pueden plantarse inmediatamente o esperar su cicatrización por un periodo no mayor de 7 días; o también sumergirlos en una solución de un fungicida sistémico durante 5 minutos, después de realizada la poda y eliminación de la zona dañada (Martínez, Bernal & Cáceres; 1996).

b. Preparación del suelo

Esta especie no requiere de condiciones especiales de preparación del suelo, por lo que se puede utilizar cualquier sistema donde se logre crear el lugar adecuado que asegure el enraizamiento y contribuya a su crecimiento y desarrollo. Esto se logra conservando la estructura del suelo, el mantenimiento de sus condiciones físicas, químicas y biológicas y evitando todo tipo de erosión (Martínez, Bernal & Cáceres; 1996).

Esta operación debe comenzar con no menos de 45 días de antelación a la fecha programada para la plantación y tomando en consideración que las diferentes labores que

comprende se ejecuten cuando el terreno no este demasiado húmedo o seco (Martínez, Bernal & Cáceres; 1996).

c. Sembrado y espaciamiento

Aunque esta planta es poco exigente en cuanto a los tipos de suelos, si requiere ser plantada a plena exposición solar pues necesita alta luminosidad para su desarrollo. Estudios realizados en la citada estación experimental, mostraron mayores rendimientos de hojas por planta con espaciamientos de 70 cm entre hileras y 50 cm entre plantas, equivalentes a 28,570 plantas/ha. Si bien los rendimientos fueron altos con esta densidad de plantación la recolección se hizo difícil por la longitud que alcanzan sus espinosas hojas (hasta 50 cm de longitud). La experiencia demostró que era necesario ampliar la distancia entre surcos para facilitar esta operación (Martínez, Bernal & Cáceres; 1996).

d. Fertilización y suministro de nutrientes

La planta no es muy exigente en nutrientes, puede crecer y desarrollarse en suelos infértiles, aunque en plantaciones comerciales pueden efectuarse aplicaciones de fertilizantes químicos, pero lo más aconsejable es que se hagan aplicaciones de materia orgánica, para mejorar las condiciones de fertilidad del suelo (MAGA, 1989).

e. Limpias

Las limpiezas pueden efectuarse una vez al año, por las condiciones propias de la planta, que hacen que se adapte a condiciones muy adversas en las que la mayor parte de malezas y otro tipo de plantas no soportarían estas condiciones de sequedad (MAGA, 1989).

f. Riegos

Por ser una planta de características suculentas, esta se adapta más a terrenos arenosos con topografía quebrada, por lo cual es bastante resistente a sequías. Son más peligrosos los riegos frecuentes que en forma esporádica, por lo que se debe dejar que el suelo esté lo bastante seco antes de volver a regar. Las raíces se pudren al estar expuestas a la tierra húmeda durante períodos largos (MAGA, 1989).

Bernal y Correa en 1,994 enfatizaron que 6 semanas antes de la cosecha, la plantación debe ser bien irrigada para incrementar el contenido de mucílagos. Se necesita regar y cultivar después de cada cosecha de hojas (Martínez, Bernal & Cáceres; 1996).

g. Plagas y enfermedades

Las principales enfermedades en esta planta son producidas por hongos tales como *Fusarium alternata* y *Sclerotium solani*. En Cuba, en las áreas de cultivo de la nombrada estación experimental, entre los hongos, el que resulta más peligroso por las grandes infestaciones que causa en las plantaciones, es *Sclerotium rolfsii*, que provoca daños en el cuello de las plantas y en el sistema radicular, ocasionando que las mismas se decapiten, sequen y mueran. Generalmente el exceso de humedad en el suelo provoca estos fenómenos adversos. Otros hongos detectados en las hojas fueron *Colletotrichum* sp., *Cladosporium* sp. y *Curvularia* sp., que producen manchas en la superficie y en los bordes, así como endurecimiento de las puntas de las hojas (Martínez, Bernal & Cáceres; 1996).

Con relación a los nemátodos que atacan a esta planta, el de mayor importancia por los daños que origina es *Scutellonema cathrcaudatum*, que puede ser aislado tanto del suelo como de las raíces. Este nemátodo produce amarillamiento en las plantas y lesiones necróticas con aspecto seco en las raíces (Martínez, Bernal & Cáceres; 1996).

Entre los síntomas que se presentan debido a un mal cuidado de la planta, podemos mencionar los siguientes:

- i. Las hojas están horizontales en lugar de ir hacia arriba, esto generalmente se debe a la luz insuficiente ya que aunque se torne café bajo la fuerte luz solar, si necesita de una buena cantidad de luz solar.
- ii. Las hojas son delgadas y rizadas cuando no se le está regando lo suficiente, y por lo tanto, están consumiendo su propio líquido.
- iii. Las hojas están de color café si existe demasiada luz solar directa.
- iv. Crecimiento muy lento, las causas probables pueden ser una tierra o agua muy alcalina, demasiada humedad por mucho tiempo, luz insuficiente, demasiado fertilizante, etc.
- v. Enfermedad o infestación, aunque éstas casi no existen en las zonas templadas (MAGA, 1989).

h. Cosecha y recolección

La operación se efectúa de forma manual. Con el auxilio de cuchillas se hace una incisión en un extremo de la base de las hojas y se tira en sentido contrario hasta desprenderla del tallo. Todas las cosechas se realizan de igual manera, a intervalos de 6 meses. En la recolección se requiere de guantes y camisas de mangas largas para protegerse de los daños que puedan ocasionar los bordes espinosos de estas hojas (Martínez, Bernal & Cáceres; 1996).

A medida que la planta va creciendo se hace más rica en principios activos y se recomienda esperar de 2 a 4 años antes de empezar a cosechar (Poder Natural, 2003).

i. Rendimiento

Los valores promedios de los datos tomados del trabajo en las parcelas experimentales y de producción de la referida estación experimental, muestran que el peso promedio por hoja se encuentra entre 170 g y 200 g. Lemes (1,998) indicó que se obtienen alrededor de 34 T/ha de hojas por cosecha (Martínez, Bernal & Cáceres; 1996).

D. Usos y potencial económico

a. Principios activos

La planta contiene aceite esencial, goma albúmina, una resina amarga, materia colorante, fosfato de calcio, vestigio de hierro y derivados antracénicos (C-glucósido L-aloina), los cuales se encuentran más abundantes en las hojas (MAGA, 1989).

Además según el profesor Llamas contiene barbalcina, aloína, aloecina, sílice y potasio (Roque, 1941). Contiene también polisacáridos, principalmente glucomananos, glicósidos de antraquinona, glicoproteínas y otros compuestos como esteroides, saponinas y ácidos orgánicos (Wren, 1994).

El mayor constituyente de *A. vera* (L.), Burm. F. es conocido como barbaloina ó aloína, el cual es en efecto una mezcla de aloína A y B. Ensayos químicos muestran que también contiene carbohidratos (0.3 %), agua (98.5 %) y algunos polisacáridos (pectinas, hemicelulosa, y derivados de manosa) (Zhang, 1999).

La aloína de sábila se origina en las células del periciclo y del parénquima adyacente en la hoja. Y brota espontáneamente de algún corte de la hoja. Este no debe confundirse con el gel, el cual es mucilaginoso e incoloro, obtenido de las células parenquimatosas contenidas en las hojas frescas de sábila. La aloína es una exudación amarga de color amarillo originado en las células de las hojas (Zhang, 1999).

b. Propiedades medicinales

Tópicamente ayuda a curar heridas, alivia quemaduras (incluyendo las del sol), se usa como emoliente y para la irrigación del colon. Recientemente se ha demostrado que los extractos aumentan la fagocitosis en el asma bronquial de los adultos (Wren, 1994).

Como cataplasma tiene propiedades vulnerables, emolientes y desinflamantes, por lo que se recomienda para quemaduras, tumores y otra clase de lesiones. Como infusión tiene propiedades laxantes en pequeñas dosis, por lo que se recomienda para combatir el estreñimiento, tiene además propiedades depurativas, utilizada en enfermedades de la sangre, vejiga y enfermedades venéreas. Al exterior se utiliza como colirio para irritaciones en los ojos. Como jugo tiene las mismas propiedades descritas anteriormente pero en forma concentrada. Es particularmente útil para expulsar las lombrices intestinales, principalmente las *Ascaris* (MAGA, 1989).

c. Usos en medicina folklórica

El jugo de sólidos se usa en tratamientos de dermatitis, úlceras pépticas, tuberculosis e infecciones fungosas y para la reducción de niveles de azúcar (glucosa) en la sangre. También es usado para tratar acné, hemorroides y anemia. Estos usos no han sido sujetos a experimentos clínicos (Zhang, 1999).

d. Usos industriales

A. vera (L.), Burm. F. ha sido utilizada desde los tiempos más remotos para el tratamiento de diversas dolencias. Actualmente ha comenzado a ser un producto agrícola y de consumo de gran significancia en el comercio de los Estados Unidos y de todo el mundo. Además de sus usos medicinales se utiliza en cosméticos y alimentos. En la industria alimenticia se usa como saborizante en muchos productos, incluyendo las bebidas alcohólicas (licores de raíces amargas, licores, vermut) y las no alcohólicas, postres de

productos lácteos congelados, caramelos, productos horneados, gelatinas y pudines (Martínez, Bernal & Cáceres; 1996).

La NASA la 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 (Poder Natural, 2003).

2.1.2. Frecuencia de riego

A. Definiciones

a. Potencial de agua en el suelo

El suelo es un cuerpo poroso que tiene capacidad de retener cierta cantidad del agua que le es aplicada, esto es debido a que existen fuerzas que actúan en contra de la fuerza de gravedad. A la fuerza por unidad de área con que el agua está retenida en el suelo se le denomina potencial de agua simbolizado con la letra griega psi (ψ). El potencial es dado como un número negativo porque el agua retenida es más difícil de mover que el agua libre, o sea que un trabajo debe ser hecho para tomar o mover esa agua del suelo (por las plantas o hacia drenaje) (Sandoval Illescas, 1989).

El potencial total de agua en el suelo ψ_T está formado por varios componentes:

$$\psi_T = \psi_M + \psi_\pi + \psi_g + \psi_P + \psi_\Omega$$

El potencial mátrico (ψ_M) es el mayor contribuyente al potencial total y es debido principalmente a las fuerzas de adhesión entre los átomos de hidrógeno del agua por los de oxígeno de los minerales del suelo. El potencial osmótico (ψ_π) es debido a la fuerza de atracción que las sales ejercen sobre el agua, este potencial es importante en suelos salinos, en donde el agua está retenida por las sales con tal fuerza que no es disponible a las plantas. Los potenciales gravitacional (ψ_g), de presión del aire (ψ_P) y del peso del suelo (ψ_Ω) son muy pequeños y pueden ignorarse (Sandoval Illescas, 1989).

A mayores valores absolutos de potencial total las fuerzas que retienen el agua en el suelo son mayores y por lo tanto las plantas deben hacer un mayor esfuerzo para extraer esa agua del suelo. Así, si el potencial total de agua en el suelo es de -0.1 atm las plantas pueden tomar fácilmente el agua, el suelo está húmedo. Si el potencial total es de -15 atm las plantas tienen que realizar un enorme trabajo para obtener el agua, lo cual muchas veces está fuera de su capacidad, pudiendo marchitarse (Sandoval Illescas, 1989).

b. Potencial de agua celular

Los distintos factores implicados en las relaciones del agua celular pueden resumirse mediante la ecuación:

$$\Psi_{\text{célula}} = \Psi_s + \Psi_P + \Psi_m$$

En donde $\Psi_{\text{célula}}$ es el potencial del agua en la célula, Ψ_s expresa el efecto de los solutos en la solución de la célula, Ψ_P presión y Ψ_m expresa el efecto de los coloides y superficies que fijan el agua en la célula. Ψ_s y Ψ_m son negativos, Ψ_P es positivo a menos que haya una presión negativa de las paredes, circunstancia rara. La suma de los tres términos es un número negativo, salvo en células plenamente turgentes en que llega a cero (Kramer, 1974).

Cuando las células se plasmolizan, el protoplasto suele separarse de la pared celular; pero en ocasiones, sin embargo, está tan firmemente adherida a la pared celular que ésta es atraída hacia dentro. Esto crea una tensión sobre el agua de las células. Probablemente la plasmólisis se produce raras veces en la naturaleza, pero que se producen presiones negativas en las paredes es algo que se infiere de medidas que indican que $\Psi_{\text{célula}}$ es a veces más baja que Ψ_s en plantas que soportan una fuerte presión hídrica (Kramer, 1974).

c. Capacidad de campo (CC)

La capacidad de campo es la cantidad de agua retenida por un suelo, contrastando la gravedad, dejándola drenar libremente, se determina sometiendo las muestras de suelo a una tensión de 0.33 atmósferas (Fassbender, 1983).

La capacidad de campo es una característica en la que intervienen no solo el suelo en sí, sino el drenaje, la evaporación y transpiración; y el agua que se agrega. Por esta razón solo puede determinarse con exactitud en condiciones de laboratorio (Fassbender, 1983).

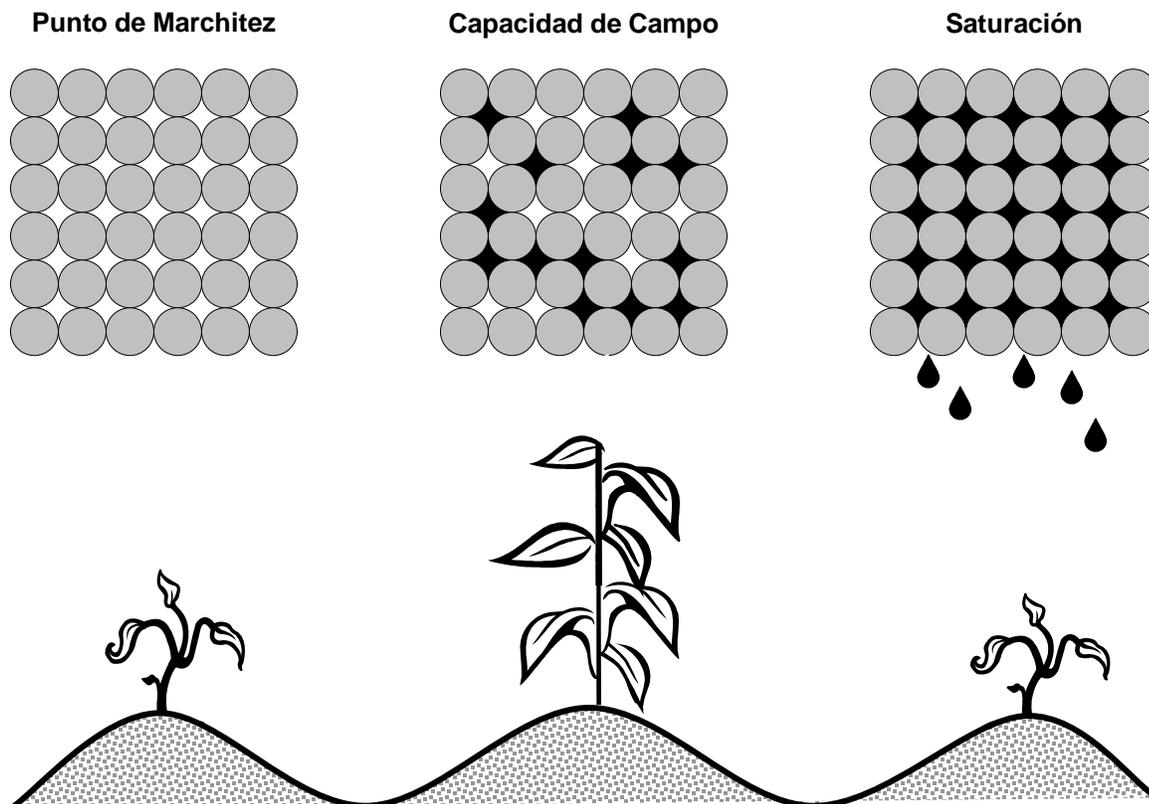
d. Punto de marchitez permanente (PMP)

Es el punto en el que las plantas se marchitan permanentemente porque el agua en el suelo es retenida de tal forma que no puede ser obtenida por las plantas. Este punto corresponde aproximadamente, al equilibrio de la cantidad de agua del suelo a una tensión de 15 atmósferas. Depende más de las características osmóticas de la planta que de las características del suelo (Fassbender, 1983).

e. Humedad aprovechable o disponible a las plantas (HA)

El agua en el suelo se encuentra alrededor y entre las partículas y agregados de partículas. Al respecto como se observa en la figura 1, se diferencian los diferentes tipos de agua:

- i. Agua fijada alrededor de las partículas de manera que no está disponible para las necesidades de transpiración de la planta. Si el suelo contiene solo este tipo de agua, se dice que se encuentra al punto de marchitez. La planta no puede desarrollarse.
- ii. Agua alrededor y entre las partículas en una adecuada combinación agua-aire, de manera que la planta se puede desarrollar en forma óptima. El suelo en estas condiciones, se encuentra a su capacidad de campo.
- iii. Cuando todos los espacios en el suelo se encuentran llenos de agua, se dice que el suelo se encuentra en su punto de saturación. En esta situación, falta aire en el suelo. Por eso, la planta no se puede desarrollar (DGETA, 1978).



Fuente: DGETA, 1978.

Figura 1. Distribución del agua en el suelo.

En un suelo arcilloso con partículas finas habrá más retención de agua que en un suelo arenoso con partículas grandes debido a que la superficie interna es inversamente proporcional al tamaño de las partículas. Por otro lado el agua se mueve más fácil y más rápidamente en un suelo arenoso que en un suelo arcilloso (DGETA, 1978).

f. Déficit permitido de manejo

A través de mucha experiencia se ha demostrado que no se debe permitir que la humedad del suelo baje desde capacidad de campo hasta el punto de marchitez permanente porque la producción del cultivo disminuirá. El porcentaje al cual se permite bajar la humedad del suelo antes de regar y sin que la producción disminuya se le denomina el punto crítico (PC) y se encuentra entre el valor de capacidad de campo y punto de marchitez permanente. El punto crítico varía con el tipo de cultivo, etapa de desarrollo del cultivo, suelo y clima y debe ser evaluado en experimentos de campo (Sandoval Illescas, 1989).

Al rango entre capacidad de campo y el punto crítico se le llama déficit permitido de manejo (DPM). Normalmente se expresa como el porcentaje de la humedad aprovechable total que puede ser usada por el cultivo sin que la producción de éste disminuya. De manera general el DPM varía entre 25 % y 80 % del agua disponible total, siendo de 25 % a 40 % para cultivos susceptibles a sequía y de 60 % a 80 % para cultivos resistentes a sequía. El valor más comúnmente utilizado de DPM es 50 % (Sandoval Illescas, 1989).

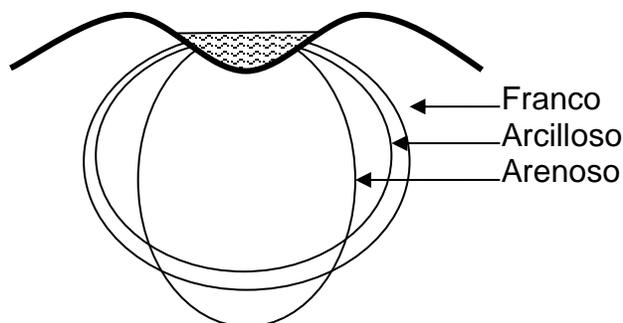
B. Características y propiedades físicas del suelo relacionadas con el riego y el drenaje

a. Textura del Suelo

El término textura es una expresión cualitativa y cuantitativa del tamaño o rango de tamaño predominante de las partículas del suelo. Cualitativamente se refiere a la expresión o sensación de tacto: grueso, medio, fino, etc. Cuantitativamente es la proporción relativa en la cual se encuentran combinadas las partículas del suelo (Andrade, 1974).

Determina en gran parte la capacidad de retención de agua, el movimiento del agua en el suelo y la cantidad de agua disponible a las plantas (figura 2). Todo lo anterior a su vez, determina considerablemente la cantidad de agua a ser aplicada en un riego, la frecuencia, el tiempo y también que método es el más adecuado. En promedio un suelo arenoso tiene capacidad para retener un 8 % de su volumen en forma de humedad

aprovechable por las plantas, mientras que un suelo arcilloso puede retener un 23 % de humedad aprovechable (Sandoval Illescas, 1989).



Fuente: Thorne & Peterson, 1981.

Figura 2. Relaciones de ancho a profundidad humedecida en función de la textura del suelo.

b. Estructura y porosidad del suelo

Se refieren a la distribución espacial y a la organización total del sistema del suelo, expresados por el grado y tipo de agregación y por la naturaleza y distribución de los poros y espacios porosos. Los suelos que están formados de modo predominante por arena gruesa son sueltos y sin agregados bien formados, mientras que aquellos formados principalmente por arcilla tienden a ser coherentes o masivos y a formar un número menor de agregados de mayor tamaño (Fitzpatrick, 1992).

Afecta básicamente la velocidad de infiltración del agua, característica que es determinante en el cálculo del tiempo necesario para aplicar una lámina de riego. El movimiento del agua dentro del suelo es afectado por la estructura, siendo esto importante en el drenaje agrícola. Otro aspecto agronómico afectado es la profundidad de penetración de raíces, la cual tiene relación con la profundidad a regar o drenar (Sandoval Illescas, 1989).

La estructura laminar y masiva tiene un movimiento del agua muy lento que puede llegar a limitar el uso de métodos de riego como el de aspersión por producir encharcamiento, siendo difícil la aplicación del riego. Las estructuras en bloques y prismática tienen un movimiento del agua moderado, mientras que la granular tiene un movimiento rápido, no presentando normalmente problemas de riego ni drenaje y siendo estos últimos tres tipos de estructuras las más favorables para la relación agua-suelo-planta (Sandoval Illescas, 1989).

c. Densidad aparente del suelo (D_a)

La densidad aparente del suelo completo no disturbado es el peso de un bloque de suelo seco/volumen del suelo al muestrearlo, y se expresa en g/cm^3 , en donde se toman en cuenta la densidad de los materiales mismos del suelo y su disposición o estructura. Por tanto un suelo seco poroso tendrá una densidad aparente menor que un suelo compacto, aunque la densidad absoluta de las partículas individuales de los suelos pudiera ser la misma (Fitzpatrick, 1992).

d. Velocidad de infiltración (I)

La velocidad de infiltración puede ser definida como la velocidad de penetración del agua en el perfil del suelo, cuando la superficie del terreno se cubre con una delgada lámina de agua. Si se aplica agua a un área de terreno, la cantidad absorbida aumenta menos que proporcionalmente con respecto al tiempo, evidenciando una disminución de la velocidad de infiltración (Grassi, 1985).

La velocidad de infiltración depende principalmente de la porosidad o permeabilidad del suelo. A su vez, la permeabilidad del suelo depende de la estructura del suelo y por lo tanto de su textura, contenido de materia orgánica y su labranza. Los suelos con partículas y agregados grandes tienen en general una permeabilidad mayor. Un adecuado contenido de materia orgánica favorece la formación de agregados, y así la permeabilidad y velocidad de infiltración. Por medio de la aradura del suelo se afloja la tierra, lo que también favorece la penetración del agua (DGETA, 1978).

e. Conductividad hidráulica

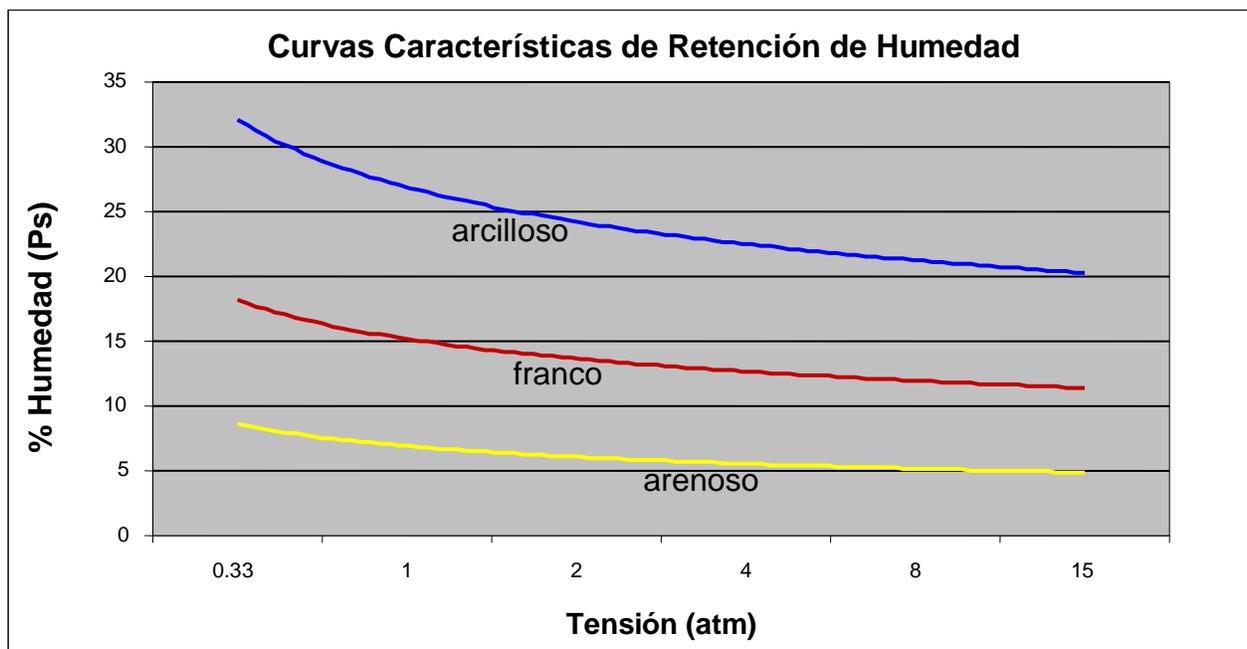
Expresa la facilidad con que el suelo permite el flujo de un fluido en particular, según el gradiente. Se determina tanto por el tipo de suelo como por el fluido que transmite (Sandoval Illescas, 1989).

C. Retención de humedad en el suelo

Una característica física importante del suelo en relación a la producción de cultivos es su capacidad de retención de humedad. Bajo cualquier condición climática algunos suelos tienden a retener más contenido de humedad que otros. Esta tendencia está determinada generalmente por la textura, estructura, contenido de materia orgánica, naturaleza del

subsuelo y la profundidad de una temporal o permanente lámina de agua. Esta capacidad de retención de humedad es frecuentemente el factor determinante en la distribución de los cultivos y esto indica el hecho de que los cultivos muestran un crecimiento más exuberante bajo condiciones de suelos con alto contenido de humedad (Firman, 1953).

El agua no es igualmente aprovechable por el cultivo en todo el rango que cubre su disponibilidad en el suelo; a medida que disminuye el contenido hídrico aumenta el esfuerzo que el cultivo requiere para extraer agua al crecer la tensión. La curva característica de humedad en el suelo, relaciona el contenido hídrico con la tensión. En la figura 3 podemos observar que dicha curva, muestra que la tensión crece logarítmicamente al disminuir aritméticamente el contenido hídrico y que suelos de desiguales características físicas presentan curvas diferentes (Grassi, 1985).



Fuente: Sandoval Illescas, 1989.

Figura 3. Curvas de retención de humedad.

Las curvas muestran la naturaleza continua de la atracción entre el suelo y el agua. También las relaciones entre la humedad del suelo tomando como base la tensión y tomando como base el porcentaje para cada tipo de suelo. De estas curvas se deduce que cuanto mayor es el contenido en el suelo de limo y arcilla en comparación con la arena, más será el agua almacenada en el suelo a tensiones equivalentes. Los valores de la tensión indican la aprovechabilidad relativa de la humedad del suelo por las plantas y los

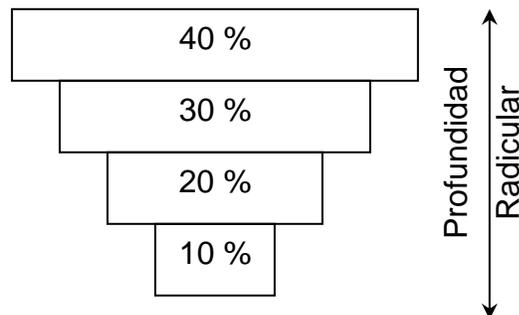
valores de los porcentajes de humedad indican las cantidades de agua en el suelo en cada punto (Thorne & Peterson, 1981).

Estas curvas de humedad que relacionan la tensión y los valores de los porcentajes del agua son necesarios para comprender las relaciones entre el suelo, el agua y las plantas. Los valores de las tensiones indican la facilidad con que puede extraerse el agua del suelo, y las cifras de los porcentajes de humedad revelan las cantidades de agua que se pueden extraer (Thorne & Peterson, 1981).

D. Zona de absorción

El muestreo sucesivo del suelo, con un determinado intervalo después de un riego o lluvia, permite determinar la potencialidad del sistema radicular. El movimiento lento en el suelo no saturado reduce su contenido hídrico, aun fuera del alcance de las raíces (Grassi, 1985).

En la figura 4, se muestra el cuadro típico de la distribución radicular, en tal caso, considerando la profundidad de suelo que exploran las raíces dividida en cuatro capas, la cantidad de agua extraída en cada una de arriba hacia abajo, sería 40 %, 30 %, 20 % y 10 % (Grassi, 1985).



Fuente: Thorne & Peterson, 1981.

Figura 4. Cuadro típico de distribución radicular.

Bajo condiciones normales, las raíces absorbentes de la mayoría de los cultivos se concentran en la capa superior del suelo, cerca de la base de la planta. Cerca del 60 % hasta 70 % de las raíces se encuentran en esta zona. En esta parte del suelo la extracción de agua es mayor (DGETA, 1978).

E. El agua en la planta

El agua es requerida en cantidades considerables por las plantas como material de alimento. Es el solvente en el cual los nutrientes ingresan a la planta. Su importancia como proveedor de nutrientes es evidenciada por el hecho de que es la principal fuente de hidrógeno y oxígeno, los cuales constituyen un gran porcentaje de la materia seca en las plantas. Entre 200 lb y 500 lb de agua son transpiradas por las hojas de las plantas por cada libra de materia seca producida (Firman, 1953).

El agua es el constituyente principal de la planta conjuntamente con el CO₂ del aire, integra la materia que mediante el proceso fotosintético forma la estructura de la planta y elabora la sustancia de reserva (Grassi, 1998).

La entrada de agua a la planta puede producirse a través de la superficie de las hojas, tallos y ramas, además de la raíz. Sin embargo, la raíz es el órgano especializado para ello al ofrecer una enorme superficie de absorción comparativamente con el resto de la planta. Al ingresar el agua el volumen de la célula aumenta, la pared celular incrementa su resistencia y por lo tanto incrementa la presión de turgencia (Grassi, 1998).

El movimiento del agua por sí misma a través de los pelos radiculares y dentro del xilema es provocado en gran parte por la concentración de los materiales disueltos en la solución del suelo, la cual es más alta en las células de la planta. La dirección del flujo del agua es determinada por la concentración total de las partículas en solución. Como el agua es liberada a través de las hojas por medio de la transpiración, la concentración de las sustancias solubles en las células incrementa y también incrementa el flujo de agua dentro de la planta (Firman, 1953).

Taylor (1964) analiza el transporte de agua desde el suelo a la atmósfera a través de la planta, partiendo de la transpiración, la cual consiste en la evaporación del agua de las células del mesófilo, y consiguiente difusión del vapor de agua hacia la atmósfera circundante. Si la resistencia por parte de la planta al flujo del agua es uniforme, la velocidad del agua a través de ella es uniforme y proporcional al gradiente del potencial de absorción de agua (Grassi, 1998).

La relación de materia seca producida y el agua consumida es prácticamente lineal. Si la producción se expresa no en materia seca sino en grano o fruto, la recta no nace en el origen del sistema de coordenadas, sino que intercepta a la evapotranspiración en puntos del eje X mayores de cero, lo que significa que se debe satisfacer las necesidades de formación de la planta en la fase inicial para después poder producir semilla o fruto (Grassi, 1998).

La eficiencia del uso del agua varía en lo que respecta a la producción de materia seca y en cuanto a la parte cosechada. Sin embargo, no siempre es posible suplir de agua a un cultivo para lograr la producción máxima, ya que se trata de un recurso escaso. El nivel de sensibilidad de los cultivos a restricciones de humedad no solo varía con la especie y variedad, sino también en diferentes etapas fenológicas de una misma especie. Se observa que los cultivos comúnmente son más sensibles al déficit de agua durante el periodo inicial, floración y comienzo de la formación de la cosecha, que durante el periodo vegetativo y la maduración (Grassi, 1998).

2.1.3. Fijación de CO₂ en especies suculentas o Metabolismo Ácido de Las Crasuláceas (CAM)

Muchas especies de climas áridos poseen hojas gruesas con proporciones superficie a volumen relativamente bajas, cutícula gruesa y baja tasa de transpiración. Tales plantas suelen llamarse suculentas (Salisbury & Ross, 1994).

El metabolismo de CO₂ en las suculentas es poco usual, y como en un principio se investigó en miembros de la familia Crassulaceae, se le conoce como metabolismo ácido de las crasuláceas (CAM en inglés). El CAM se ha encontrado en cientos de especies de 26 familias de angiospermas (Cactaceae, Orchidiaceae, Bromeliaceae, Liliaceae y Euphorbiaceae) (Salisbury & Ross, 1994).

Las plantas CAM suelen encontrarse donde el agua es escasa o de difícil acceso. En estos hábitats, las plantas CAM deben obtener agua y CO₂ pero si abren sus estomas por completo durante la luz del día y por consiguiente, obtienen CO₂, transpiran demasiada agua. Por lo tanto estas plantas abren sus estomas y fijan CO₂ en ácido málico durante la noche, cuando la temperatura es más baja y la humedad relativa es mayor (Salisbury & Ross, 1994).

2.1.4. Estrés hídrico

A pesar de las múltiples complicaciones, la *Covillea mexicana* crece en el desierto, el mangle blanco crece con sus raíces en el agua salada en los bosques costeros y el abeto blanco vive en los bosques septentrionales. Pero todos ellos están bajo un factor de tensión en común, al menos en ciertas épocas del año: los potenciales hídricos negativos (estrés hídrico) (Salisbury & Ross, 1994).

Las especies suculentas como el cacto, el maguey y muchas otras plantas que tienen metabolismo ácido crasuláceo son acumuladoras de agua; resisten la sequía almacenando el agua en sus tejidos suculentos. Acumulan el agua suficiente, y como su tasa de pérdida es tan baja (gracias a una cutícula excepcionalmente gruesa y al cierre de estomas durante el día) pueden existir por largos periodos sin recibir más agua (Salisbury & Ross, 1994).

2.2. Marco referencial

2.2.1. Ubicación geográfica de la aldea Tierra Blanca

El experimento se realizó en el periodo comprendido del 25 de enero 2,003 al 05 de mayo 2,003, en la parcela de don Guillermo Oliva, la cual se ubica en la aldea Tierra Blanca, municipio de Guastatoya, El Progreso, localizada geográficamente en las coordenadas 14°52' latitud norte y 90°05' longitud oeste.

La fase de análisis de las muestras de sábila (*A. vera* (L.), Burm. F.) se llevó a cabo en el laboratorio de la empresa Sábila S.A., ubicada en el kilómetro 70 carretera al atlántico (CA-9), aldea Tierra Blanca, Guastatoya, El Progreso, localizada geográficamente en las coordenadas 14°52' latitud norte y 90°05' longitud oeste.



Fuente: http://google-maps.pro/satellite/Mapa_del_Mundo#14.850278,-90.089306,15, 2017.

Figura 5. Acercamiento de la ubicación geográfica de la parcela experimental y la planta procesadora de la empresa Sábila, S.A. en la aldea Tierra Blanca, Guastatoya El Progreso.

2.2.2. Condiciones climáticas de la zona

En el cuadro 1 se presentan los datos climáticos de precipitación mensual promedio para los años de 1,990 a 2,001; evapotranspiración potencial diaria promedio para los años de 1,980 a 1,990 y temperaturas máximas y mínimas mensuales promedio para los años de 1,990 a 1,999, tomados de la estación meteorológica Morazán, situada en Morazán, El Progreso.

Cuadro 1. Datos climáticos para el departamento de El Progreso.

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
pp en mm	4.3	1.0	8.8	46.8	99.7	166.6	94.5	116.7	171.5	96.4	38.6	11.9
Etp en mm	4.9	5.6	6.5	7.0	6.9	6.3	6.2	6.2	5.7	5.3	4.9	4.6
T máx en °C	33.1	33.7	35.1	37.6	36.4	34.8	33.5	34.7	33.0	31.9	30.9	32.0
T min en °C	16.0	17.5	18.0	27.6	21.1	21.5	21.0	21.3	21.2	19.9	17.3	17.3

Fuente: INSIVUMEH, 2002.

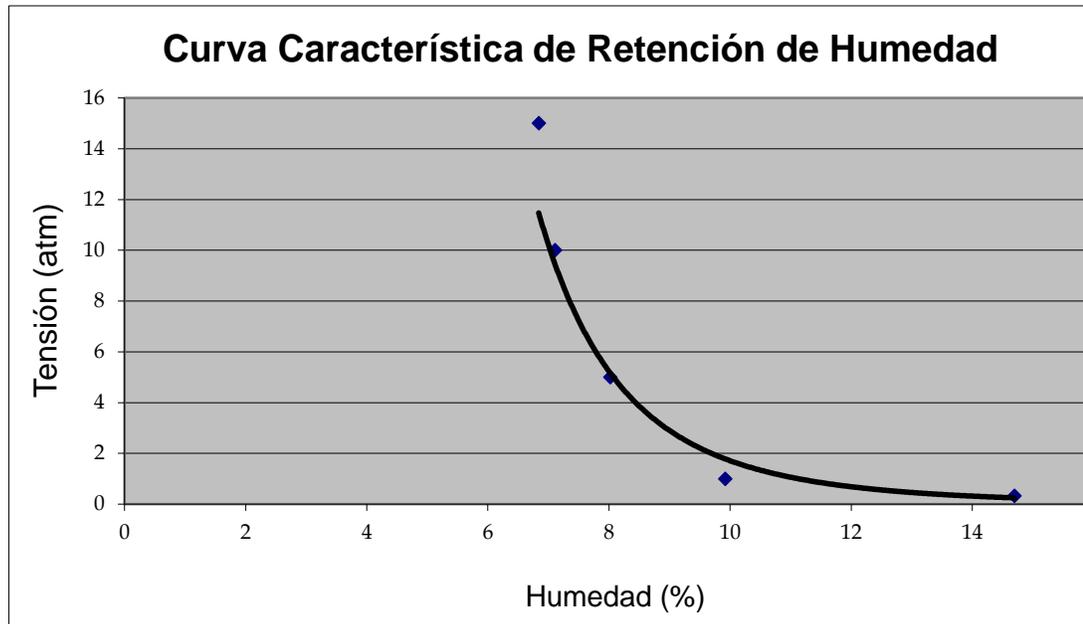
2.2.3. Características del suelo

Los datos relacionados con las constantes de humedad y otras características físicas del suelo procedente de la parcela experimental para una profundidad de 30 cm. se determinaron en el laboratorio de suelos de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos, sometiendo la muestra a tensiones de $\frac{1}{3}$, 1, 5, 10 y 15 atm. Los resultados obtenidos se muestran en el cuadro 2 y en la figura 6.

Cuadro 2. Constantes de humedad y características físicas del suelo.

% Humedad					Da g/cm ³	%			Clase Textural
15 atm	10 atm	5 atm	1 atm	$\frac{1}{3}$ atm		Arcilla	Limo	Arena	
6.84	7.11	8.02	9.92	14.70	1.33	7.81	27.30	64.89	Franco Arenoso

Fuente: Laboratorio de Análisis de Suelo y Agua de la FAUSAC, 2003.



Fuente: Laboratorio de Análisis de Suelo y Agua de la FAUSAC, 2003.

Figura 6. Curva característica de retención de humedad correspondiente al suelo de la parcela experimental.

2.2.4. Análisis de la calidad del agua de riego

A continuación, en el cuadro 3, se presentan los resultados obtenidos del análisis de agua del río Guastatoya, realizado en el Laboratorio de Análisis de Suelo y Agua de la Facultad de agronomía, con la cual se llevó a cabo el riego.

Cuadro 3. Análisis de la muestra de agua del río Guastatoya, con la cual se regó.

pH	C.E. ($\mu\text{S}/\text{m}$)	Meq/L				ppm				RAS	Clase
		Ca	Mg	Na	K	Cu	Zn	Fe	Mn		
7.7	331	1.37	1.02	1.17	0.051	0.0	0.0	0.6	0.0	1.08	C2S1

Fuente: Laboratorio de Análisis de Suelo y Agua de la FAUSAC, 2003.

De acuerdo con los resultados del cuadro 03, se puede determinar que el agua utilizada para el riego es de buena calidad debido a que la conductividad eléctrica (C.E.) que expresa el contenido de sales disueltas en el agua, en este caso se encuentra en un nivel intermedio, la de salinidad es media (C2), puede usarse siempre y cuando haya un lavado moderado y puede utilizarse para el riego en cultivos moderadamente tolerantes a las

sales. En cuanto al sodio, se encuentra en un nivel bajo (S1), lo que significa que dicha agua puede utilizarse en los suelos ya que existe poca probabilidad de que se alcancen niveles peligrosos de sodio intercambiable.

2.2.5. Grosor adecuado de la hoja de sábila para la elaboración del filete

Para la elaboración de filetes de hoja de sábila (*A. vera* (L.), Burm. F.) en la planta procesadora, los trabajadores deben rebanar la hoja de tal manera que logren quitar las espinas, el haz y el envés de la hoja sin desperdiciar el mesófilo o gel que contiene adentro y por eso es necesario que el grosor de las hojas sea el adecuado para facilitar el trabajo y ahorrar tiempo, sin embargo cuando las hojas son muy delgadas, el producto puede elaborarse, aunque se invierte más tiempo de lo normal y a los trabajadores se les dificulta, es por ello que en la planta procesadora solo se utilizan hojas con buen grosor para la elaboración de filetes. En el cuadro 4 pueden observarse los grosores adecuados para la obtención de filetes y la relación que se da entre grosor y concentración de grados Brix en las hojas de sábila

Cuadro 4. Grosor de las hojas de sábila y su relación con los grados Brix.

Grosor (cm)	Peso Hoja Entera (g)	Peso Filete (g)	Grados Brix de Hoja Entera	Grosor para la Obtención del Filete
0.5 -0.9	47	12	6.7	No adecuado
1.0 – 1.7	125	46	3.5	Adecuado
> 1.7	340	226	2.5	Óptimo

Fuente: Laboratorio de Control de Calidad de Sábila S.A., 2003.

3. OBJETIVOS

3.1. Objetivo General

Determinar la frecuencia de riego más adecuada para el cultivo de sábila (*Aloe vera* (L.), Burm. F.) que permita obtener hojas enteras con alto contenido de sólidos (>2.5 grados Brix) y con alto rendimiento en peso fresco.

3.2. Objetivos Específicos

1. Determinar el rendimiento en peso fresco de hoja de sábila por tratamiento.
2. Determinar el tratamiento que presenta mayor concentración de grados Brix.
3. Establecer con cuál de los tratamientos se obtiene mayor cantidad de producto concentrado por cantidad de peso fresco.

4. HIPÓTESIS

Por lo menos uno de los tratamientos mostrará diferencia significativa en cuanto al rendimiento en peso fresco y concentración de grados Brix del cultivo de sábila (*Aloe vera* (L.), Burm. F.) en la aldea Tierra Blanca, Guastatoya, El Progreso.

5. METODOLOGÍA

5.1. Material experimental

Se utilizó el cultivo de sábila (*A. vera* (L.), Burm. F.), sobre el cual se evaluó el efecto de la frecuencia de riego sobre su rendimiento y calidad, auxiliándonos de un sistema de riego por gravedad.

5.2. Diseño experimental

El diseño experimental utilizado fue el de bloques al azar debido a la presencia de una variación en la gradiente de pendiente del terreno; el diseño consistió en 5 tratamientos y 4 repeticiones, para un total de 20 unidades experimentales. El modelo estadístico es:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \beta_j + \varepsilon_{ij}$$

Donde:

Y_{ij} = Magnitud de la variable de respuesta de la ij -ésima unidad experimental.

μ = Efecto de la media general.

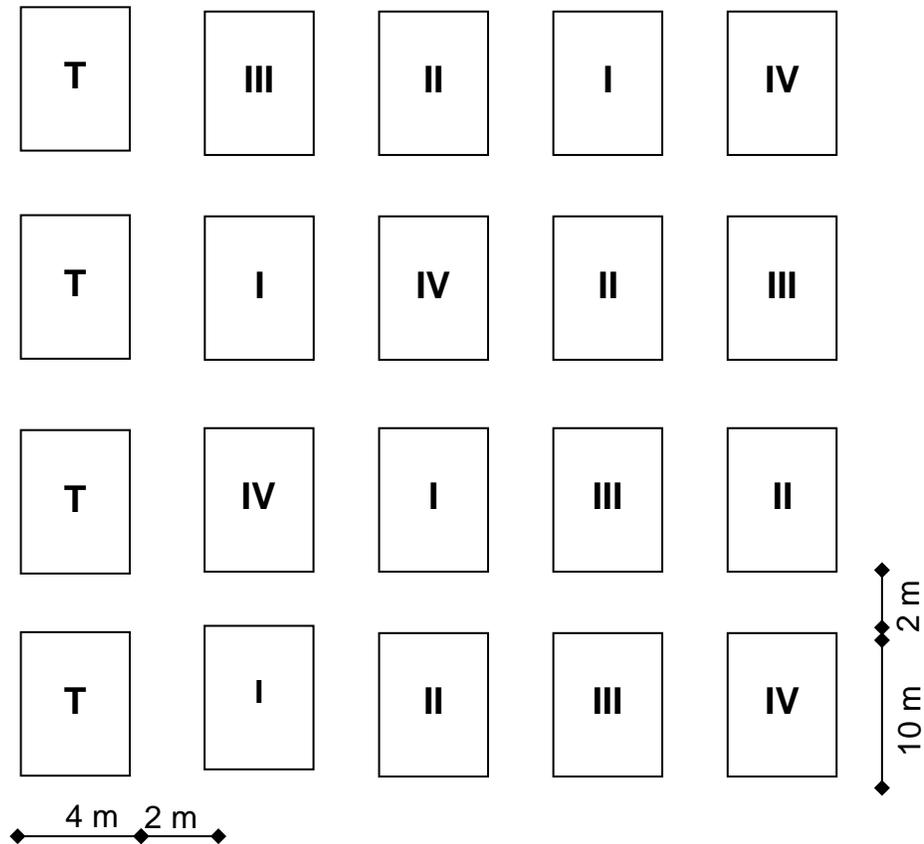
τ_i = Efecto del i -ésimo tratamiento.

β_j = Efecto del j -ésimo bloque.

ε_{ij} = Efecto del error aleatorio asociado al j -ésimo bloque en el tratamiento i -ésimo.

5.3. Unidades experimentales

En la figura 7 se puede observar la distribución de cada unidad experimental dentro de la parcela experimental. Cada unidad experimental constó de una parcela de 4 m de ancho por 10 m de longitud, compuestas de 8 surcos; dando un área de 40 m² por parcela. El área total es de 800 m² (20 parcelas), las parcelas estuvieron separadas por 2 m una de la otra con la finalidad de evitar el traslape. Los surcos tienen una separación de 0.5 m y una distancia entre plantas de 50 cm, haciendo un total de 20 plantas por surco y 160 por parcela. Se cosecharon 6 surcos por parcela y 18 plantas por surco, lo que se consideró como el área útil del ensayo, conteniendo ésta 108 plantas (27.0 m²), las que se tomaron como efectivas para el cálculo de rendimiento.



Fuente: elaboración propia, 2002.

Figura 7. Distribución de las unidades experimentales.

5.4. Tratamientos

A continuación, en el cuadro 5, se describen los cinco tratamientos llevados a cabo en la evaluación.

Cuadro 5. Descripción de los tratamientos.

Tratamientos	Frecuencia de riego
T (testigo)	7 días (testigo)
I	7 días
II	14 días
III	21 días
IV	28 días

Fuente: elaboración propia, 2002.

La diferencia entre el tratamiento I y el T, es que la aplicación del riego en el tratamiento I se efectuó calculando el porcentaje de humedad contenida en el suelo antes del riego y con esta base se pudo determinar la lámina de agua a aplicar (LHA), mientras que en el testigo la lámina de agua aplicada fue la que el agricultor comúnmente utiliza cuando efectúa los riegos en su parcela.

Las frecuencias de riego a evaluar fueron de 7, 14, 21 y 28 días, debido a que es una planta de ciclo CAM y soporta muy bien las condiciones adversas de sequía. Además en la región es común que los riegos se efectúen cada 7 días. También es importante recordar que con esta evaluación se pretendió someter a las plantas a un estrés hídrico para determinar en qué grado se logra concentrar en ellas un alto contenido de grados Brix.

Se realizó un riego para humedecer el suelo de toda la parcela experimental utilizando el método de riego por gravedad que comúnmente usa el propietario de la parcela, el día 18 de enero 2,003 con el fin de homogenizar la humedad en suelo antes de iniciar la evaluación. Una semana después dio inicio la evaluación siguiendo la planificación descrita en el cuadro 6.

Cuadro 6. Programa de riegos llevados a cabo en la parcela experimental.

Fecha	TRATAMIENTOS				
	T	I	II	III	IV
01-feb-03	X	X	X	X	X
08-feb-03	X	X			
15-feb-03	X	X	X		
22-feb-03	X	X		X	
01-mar-03	X	X	X		X
08-mar-03	X	X			
15-mar-03	X	X	X	X	
22-mar-03	Llovió	Llovió	Llovió	Llovió	Llovió
29-mar-03	X	X			
05-abr-03	X	X	X		
12-abr-03	X	X		X	
19-abr-03	X	X	X		X
26-abr-03	X	X			
03-may-03	X	X	X	X	

Fuente: elaboración propia, 2003.

La lámina de riego a aplicar se determinó por medio de muestreos realizados un día antes de ejecutar cada riego, se tomaron muestras de suelo de cada unidad experimental, posteriormente se homogenizaron y se determinó el porcentaje de humedad contenido en cada una de ellas antes del riego, para calcular con ello la lámina neta de agua a aplicar y llevar el suelo a capacidad de campo.

Para calcular la lámina neta a aplicar (LHA) se utilizó la siguiente fórmula:

$$LHA = \frac{(CC - Psa)}{100} * Da * \text{Profundidad radicular}$$

En donde Psa, es el porcentaje de humedad contenido en el suelo antes de cada riego. La profundidad radicular del cultivo de sábila (*A. vera* (L.), Burm. F.), según la calicata construida en la parcela es de 30 cm, por lo tanto esta fue la profundidad radicular utilizada en el cálculo de la lámina neta de agua a aplicar.

Se consideró que la eficiencia del sistema era de 75 % tomando en consideración las experiencias de la zona y trabajos realizados en diferentes unidades de riego por gravedad, por lo tanto, la lámina bruta (L.B.) se obtuvo de dividir la lámina neta a aplicar dentro de 0.75 (75 %). El volumen de agua aplicado en cada unidad experimental se obtuvo con la siguiente fórmula:

$$\text{Volumen en cada unidad experimental} = \text{lámina bruta (m)} * \text{área de unidad experimental (m}^2\text{)}$$

5.5. Manejo del experimento

5.5.1. Trazo de las parcelas

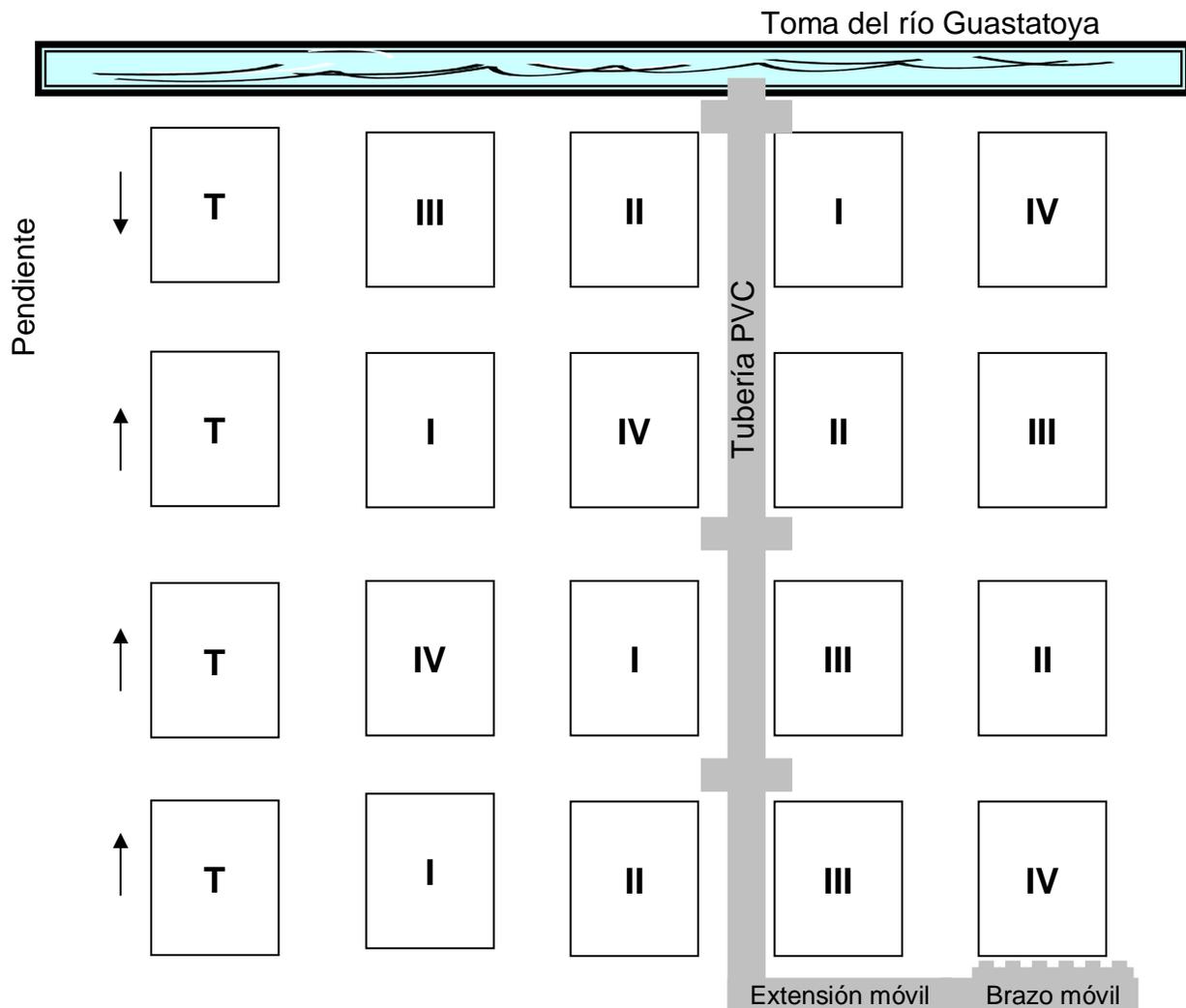
Las parcelas se trazaron de acuerdo a las medidas anteriormente establecidas y luego se cerraron en los extremos de los surcos. Para facilitar el trabajo, cada unidad experimental se identificó con un rótulo de acuerdo a su tratamiento y repetición correspondiente. Los surcos dentro de la parcela se encuentran nivelados de acuerdo a la pendiente del terreno ya que actualmente se utiliza riego por gravedad.

5.5.2. Determinación de la velocidad de infiltración

Utilizando el método de doble cilindro y aplicando el modelo de Kostiaikov Lewis se determinó la velocidad de infiltración, la cual se utilizó para establecer el tiempo de riego.

5.5.3. Ejecución del riego

El riego se efectuó con el método de gravedad, ayudado por una tubería de PVC que condujo el agua desde una toma del río hacia las diferentes unidades experimentales. De la tubería principal se desprendía un brazo móvil, el cual contenía una salida de agua para cada surco como se describe en la figura 8. La cantidad de agua a aplicar en cada parcela fue medida en litros y aplicada de acuerdo a las fechas establecidas en el cuadro 6. Una semana antes de iniciar el experimento (el 25/01/03) se realizó un riego en toda la parcela experimental para homogenizar la humedad del suelo en todas las unidades experimentales.



Fuente: elaboración propia, 2003.

Figura 8. Croquis de la parcela experimental.

Para calcular el volumen de agua que se aplicó en cada unidad experimental las salidas funcionaron durante un determinado tiempo y a una determinada carga hidráulica manteniendo un caudal constante durante un determinado tiempo hasta alcanzar el volumen requerido. Una vez conocido el caudal, se determinó el tiempo de riego necesario para llevar el suelo a capacidad de campo.

$$\text{Tiempo (h)} = \frac{\text{Volumen (L)} * 1 \text{ h}}{\text{Q (L/s)} * 3600 \text{ s}}$$

5.6. Variables de respuesta

La cosecha se efectuó el 5 de mayo 2,003 de forma manual, cortando las hojas de los dos anillos inferiores de la planta que comprenden entre 5 y 7 hojas. Posterior a la cosecha, se calculó lo siguiente:

- i. Rendimiento en peso fresco de toda la parcela útil (27.0 m²), tomado en kilogramos de cada unidad experimental.
- ii. Grosor de las hojas de sábila (*A. vera* (L.), Burm. F.) en cm, tomando una muestra de 15 hojas de cada unidad experimental y midiendo el grosor de la base de cada hoja con un calibrador vernier.
- iii. Grados Brix contenidos en las hojas de sábila de cada unidad experimental, determinados en el laboratorio de control de calidad de Sábila S.A.
- iv. Cantidad de kilogramos de hojas frescas de sábila/cantidad de kilogramos de producto concentrado, determinado en la sala de procesamiento de Sábila S.A. Es decir una relación de kilogramos frescos/kilogramo de producto concentrado.

5.7. Recolección de datos experimentales

5.7.1. Cosecha

La cosecha se realizó al finalizar la etapa de campo, se cosecharon todas las unidades experimentales tomando en cuenta únicamente la parcela útil (6 surcos y 18 plantas/surco). Las hojas cosechadas fueron almacenadas en cajas plásticas previamente identificadas las cuales se apilaron una sobre otra dentro del vehículo de transporte. Posteriormente fueron llevadas a la planta procesadora en donde se tomaron todos los datos necesarios para dar respuesta a las variables.

5.7.2. Manejo post-cosecha

Luego de transportar la cosecha hacia la planta procesadora se siguieron los siguientes pasos:

- i. Tomar el peso en kilogramos de cada unidad experimental.
- ii. Lavado de las hojas cosechadas de cada unidad experimental, por separado.
- iii. Se tomó una muestra de 15 hojas de cada unidad experimental y se midió el grosor en la base de cada hoja en cm.
- iv. Luego estas 15 hojas se regresaron a la caja correspondiente y se procesaron junto con las demás hojas cosechadas en cada unidad experimental de acuerdo al procedimiento utilizado en la fábrica, de donde se obtuvieron los datos de grados Brix y cantidad de kilogramos de producto concentrado de cada unidad experimental para obtener la relación kilogramos frescos/kilogramo de producto concentrado.

5.8. Análisis de datos experimentales

A todas las variables de respuesta que se tomaron en cuenta en el experimento, se les aplicó un análisis de varianza, con el fin de determinar la existencia de diferencias significativas entre los tratamientos evaluados. Al obtener diferencias significativas entre los tratamientos, se realizó una comparación de medias para determinar cuál de los tratamientos fue el que presentó mejores resultados.

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1. Velocidad de infiltración del suelo de la parcela experimental

A continuación, en el cuadro 7 se presentan los resultados obtenidos en la medición de la velocidad de infiltración de agua e infiltración básica, para el suelo de la parcela experimental, llevado a cabo el 01 de febrero 2,003; y en el cuadro 8 se presenta el cálculo del tiempo de infiltración en minutos para cada riego en cada tratamiento.

Cuadro 7. Registro de datos para el cálculo de velocidad de infiltración e infiltración básica del suelo en la parcela experimental.

Hora	Lectura (cm)	Cambio Lectura (cm)	Velocidad Infiltración (cm/h)	Tiempo Acumulado (min)	LOG I	LOG T
2:17	7.5					
2:18	6.80	0.70	42	1	1.6232	0.0000
2:19	6.3	0.50	30	2	1.4771	0.3010
2:22	4.9	1.4	28	5	1.4472	0.6990
2:25	3.7	1.2	24	8	1.3802	0.9031
2:28	9.1	-5.4	-108	11	-	-
2:33	7.4	1.7	20.4	16	1.3096	1.2041
				Sumatoria	7.2374	3.1072
2:38	6.2	1.2	14.4	21	1.1584	1.3222
2:43	5	1.2	14.4	26	1.1584	1.4150
2:53	3.1	1.9	11.4	36	1.0569	1.5563
3:03	6.3	-3.2	-19.2	46	-	-
3:18	3.5	2.8	11.2	61	1.0492	1.7853
3:33	7.5	-4	-16	76	-	-
4:03	1.9	5.6	11.2	106	1.0492	2.0253
				Sumatoria	5.4721	8.1041

De donde se obtienen los siguientes valores:

$$n = -0.3553$$

$$K = 45.709$$

$$L.B. = 9.8 \text{ cm/h.}$$

Los tiempos de infiltración (ti) se calcularon con la siguiente fórmula:

$$t_i = \frac{((60 \cdot LHA) \cdot (n+1))^{1/(n+1)}}{K^{1/(n+1)}}$$

Cuadro 8. Tiempos de infiltración (ti) en minutos, para cada una de las láminas aplicadas en cada riego para todos los tratamientos.

FECHA	Testigo		Trat. I		Trat. II		Trat. III		Trat. IV	
	LHA	ti	LHA	ti	LHA	ti	LHA	ti	LHA	ti
01/02/2003	2.2	2.7	2.4	3.1	1.8	2.0	1.9	2.3	2.2	2.8
08/02/2003	2.1	2.5	2.1	2.5						
15/02/2003	2.0	2.4	1.9	2.3	1.9	2.3				
22/02/2003	2.1	2.5	2.2	2.8			2.2	2.8		
01/03/2003	1.9	2.3	2.2	2.8	2.4	3.1			2.7	3.7
08/03/2003	1.8	2.1	2.1	2.5						
15/03/2003	Llovió	-	Llovió	-	1.3	1.3	2.4	3.1		
22/03/2003	Llovió	-	Llovió	-	Llovió	-	Llovió	-	Llovió	-
29/03/2003	1.8	2.1	1.8	2.0						
05/04/2003	1.7	1.8	0.4	0.2	1.3	1.4				
12/04/2003	1.7	1.8	1.8	2.0			3.1	4.4		
19/04/2003	1.8	2.0	2.0	2.4	3.2	4.6			3.8	5.9
26/04/2003	2.1	2.5	2.3	2.9						
03/05/2003	2.3	2.8	2.9	4.1	3.6	5.4	3.3	5.0		

6.2. Ejecución del riego

Los riegos se efectuaron de acuerdo a la metodología previamente establecida. Se tomaron las muestras de suelo, dividiendo la profundidad radicular en dos estratos, de 0 cm a 15 cm y de 15 cm a 30 cm debido a que se observó que el estrato inferior conservaba más humedad que el estrato superior aunque se tratara del mismo horizonte. Los resultados se muestran en el cuadro 9.

Cuadro 9. Porcentaje de humedad en el suelo antes del riego (Psa) y láminas de humedad aplicadas (LHA).

FECHA	TEST	TRATAMIENTO I			TRATAMIENTO II			TRATAMIENTO III			TRATAMIENTO IV		
	LHA	% Psa		LHA	% Psa		LHA	% Psa		LHA	% Psa		LHA
	cm	0-15	15-30	cm	0-15	15-30	cm	0-15	15-30	cm	0-15	15-30	cm
01/02/2003	2.2	8.6	8.8	2.4	9.9	10.7	1.8	9.7	10.1	1.9	8.7	9.5	2.2
08/02/2003	2.1	9.4	9.6	2.1									
15/02/2003	2.0	9.7	10.1	1.9	9.5	10.3	1.9						
22/02/2003	2.1	8.9	9.3	2.2				8.7	9.5	2.2			
01/03/2003	1.9	9.0	9.2	2.2	8.2	9.2	2.4				7.5	8.4	2.7
08/03/2003	1.8	9.3	9.7	2.1									
15/03/2003 ¹	0.0	16.5	16.9	llovió	11.2	11.8	1.3	8.4	9.0	2.4			
22/03/2003 ²	0.0	17.1	17.3	llovió	llovió	llovió	llovió	llovió	llovió	llovió	llovió	llovió	llovió
29/03/2003	1.8	7.8	12.8	1.8									
05/04/2003	1.7	12.7	14.7	0.4	10.5	12.2	1.3						
12/04/2003	1.7	9.7	10.8	1.8				6.3	7.7	3.1			
19/04/2003	1.8	8.4	11.0	2.0	5.3	8.2	3.2				4.5	6.0	3.8
26/04/2003	2.1	8.2	9.7	2.3									
03/05/2003	2.3	6.7	7.9	2.9	3.9	7.6	3.6	5.9	6.7	3.3			
sumatoria	23.3			24.1			15.4			13.0			8.7
promedio	1.7	10.1	11.3	1.7	8.4	10.0	2.2	7.8	8.6	2.6	6.9	8.0	2.9

¹ En los días 15 y 22 de marzo 2,003, el % Psa sobrepasa la capacidad de campo debido a que cayeron lluvias durante ese periodo de tiempo y la humedad en el suelo alcanzó niveles de saturación.

En la figura 9 se muestra el comportamiento del consumo de la humedad contenida en el suelo desde que se lleva a cabo un riego, hasta que se realiza el riego próximo en cada uno de los tratamientos a evaluar durante todo el periodo en que se llevó a cabo la evaluación.

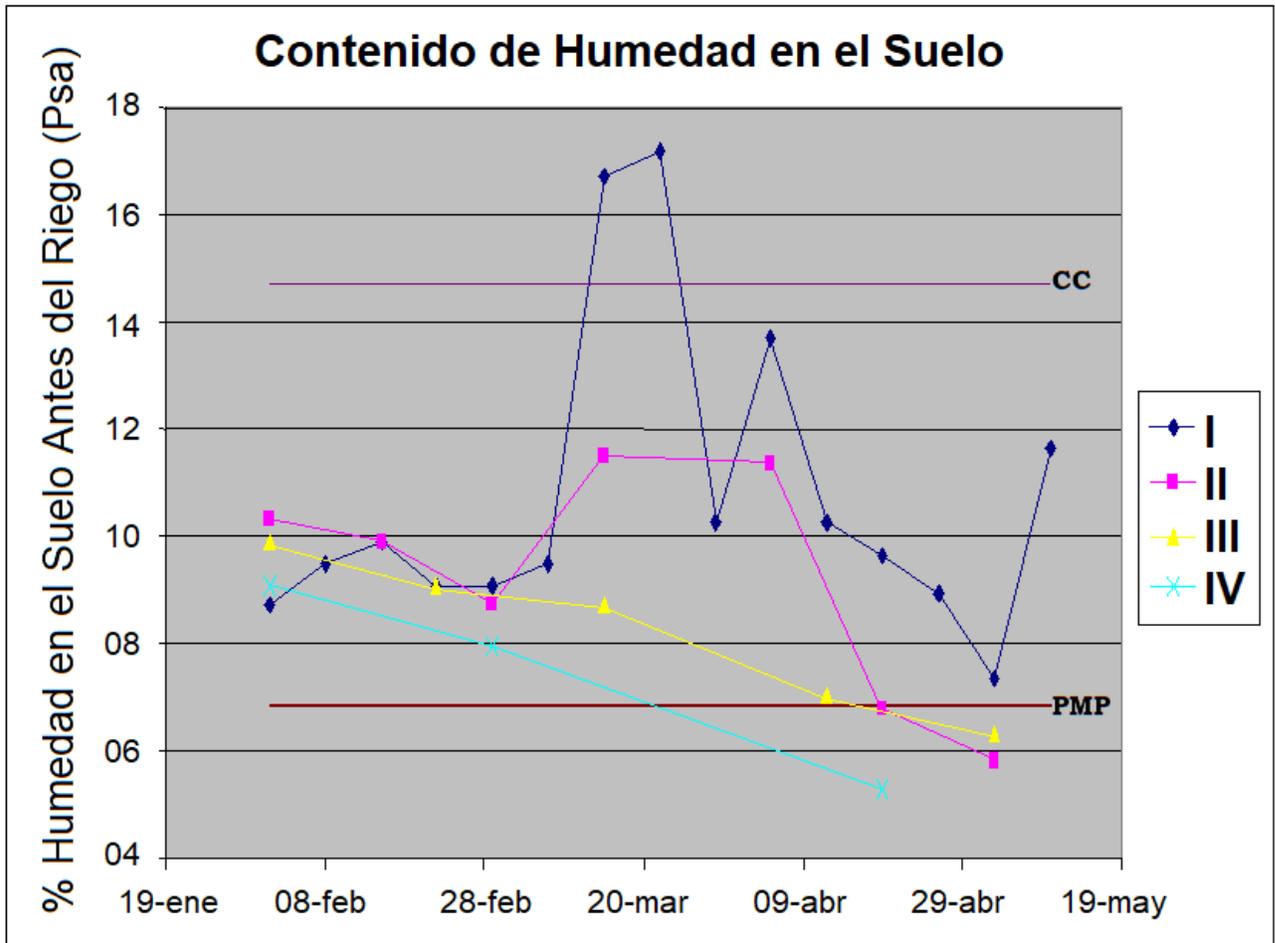


Figura 9. Comportamiento de la humedad contenida en el suelo durante todo el período de la evaluación.

El comportamiento que se observa en la figura 9, al comparar los diferentes tratamientos muestra que el consumo de humedad fue mayor en los tratamientos III y IV que en el I y II, esto debido al mayor tiempo en el que el suelo estuvo expuesto a la evapotranspiración en los tratamientos III y IV, mientras que en los tratamientos I y II el reabastecimiento de agua se efectuaba en un periodo de tiempo comparativamente más corto. Además, el consumo se hizo más severo en todos los tratamientos a partir del mes de abril, mes del año en el cual la evapotranspiración es más elevada (según el cuadro 3), habiendo incluso pasado

el punto de marchitez permanente. También se debe tomar en cuenta que durante el mes de marzo cayeron lluvias que en ese mes no son esperadas lo cual explica el aumento en la humedad del suelo durante marzo.

6.3. Cosecha

6.3.1. Rendimiento en peso fresco

Se cosecharon todas las unidades experimentales notándose que en los tratamientos con una frecuencia de riego de 7 días el peso fresco promedio fue mayor que en los demás, en los cuales el peso fresco iba disminuyendo cada vez que la frecuencia de riego se retardaba más días, dando como resultado que el tratamiento en el que se obtuvo menos rendimiento en peso fresco fue el IV, en donde se regaba cada 28 días. En el cuadro 10 se presentan los rendimientos en peso fresco de cada unidad experimental.

Cuadro 10. Rendimiento en peso fresco de hojas de sábila en kg.

Rep Trat	a	b	c	d	Media
T	143	167	169	139	154.31
I	161	180	153	143	159.21
II	143	137	114	133	131.78
III	114	118	121	84	109.25
IV	78	106	112	71	91.61

La disminución del rendimiento en peso fresco que se observa cada vez que la frecuencia de riego se retarda más días se debe precisamente a que las plantas fueron sometidas a varios días de estrés hídrico, lo cual provocó que las plantas al no contar con suficiente agua, detuvieran su producción y la utilizarán para sobrevivir más que para producir.

6.3.2. Grosor en la base de las hojas

En cuanto al grosor de la base de las hojas de sábila, se observa también una disminución cada vez que la frecuencia de riego se retarda más, como se observa en el cuadro 11, pero no es una diferencia grande ya que el rango entre el dato más alto y el más bajo es

de apenas 1.6 mm y de acuerdo con el cuadro 5 el grosor en todos los tratamientos es adecuado para la elaboración del filete de la hoja de sábila.

Cuadro 11. Grosor en la base de las hojas de sábila en cm.

Rep Trat	a	b	c	d	Media
T	1.79	1.67	1.64	1.48	1.65
I	1.69	1.73	1.55	1.47	1.61
II	1.53	1.56	1.70	1.51	1.58
III	1.59	1.59	1.52	1.51	1.55
IV	1.42	1.59	1.57	1.38	1.49

La poca diferencia que se observa entre todos los tratamientos se debe a que aunque en los tratamientos III y IV donde la frecuencia de riego fue de 21 y 28 días respectivamente, las plantas contaban con menos agua que en los demás tratamientos, pero contaban con un suministro de agua aunque este fuera limitado, lo cual no permitió que se secarán o adelgazarán demasiado, como sucede con las plantas que no cuentan con riego en la época de verano y que son las que corresponden al grosor no adecuado que se muestra en el cuadro 5. Es por ello que no existe una gran diferencia en cuanto al grosor de las hojas entre los tratamientos T y I y los tratamientos III y IV.

6.3.3. Grados Brix

Si se observan los resultados del cuadro 12, y se comparan con los resultados del cuadro 10, se observa que existe una relación inversa en los tratamientos, ya que los tratamientos T y I donde se obtuvieron mayores rendimientos se encuentran bajos en grados Brix y contrariamente los tratamientos III y IV que se encuentran bajos en rendimiento, son los que tienen el más alto contenido de grados Brix.

Cuadro 12. Contenido de grados Brix en las hojas enteras de sábila.

Rep Trat	a	b	c	d	Media
T	2.70	2.51	2.55	2.79	2.64
I	2.64	2.43	2.64	2.78	2.62
II	2.60	2.74	2.89	2.77	2.75
III	2.80	3.00	2.79	2.86	2.86
IV	2.94	3.36	3.02	2.99	3.08

Se puede observar el efecto que tiene el estrés hídrico sobre la concentración de grados Brix en las hojas de sábila (*A. vera* (L.), Burm. F.), pues es claro el aumento que se da en los diferentes tratamientos al aumentar la cantidad de días de estrés hídrico al que fueron sometidas las plantas, esto debido a que cuando las plantas no cuentan con suficiente agua de riego se ven obligadas a disminuir su producción y por ende aumentan la concentración de sus productos. Esto explica por qué las plantas que rinden más son de menor calidad en cuanto a grados Brix se refiere y viceversa.

6.3.4. Kilogramos de producto concentrado

En el cuadro 13, podemos ver que la cantidad de producto concentrado que se obtuvo en cada uno de los tratamientos disminuyó conforme aumentaba la cantidad de días de estrés hídrico a que fueron sometidas las plantas, siendo los tratamientos T y I en los que se obtuvo mayor cantidad de producto concentrado que en los demás tratamientos aunque no se trate de una diferencia muy grande.

Cuadro 13. Cantidad de producto concentrado en kg.

Rep Trat	a	b	c	d	media
T	2.24	2.47	2.53	2.23	2.37
I	2.47	2.61	2.35	2.29	2.43
II	2.18	2.17	1.87	2.13	2.09
III	1.83	1.99	1.95	1.38	1.79
IV	1.31	1.96	1.81	1.19	1.57

Los tratamientos T y I fueron los que menos concentración de grados Brix presentaron, pero al momento de tomar en cuenta su rendimiento en peso fresco para la elaboración del producto concentrado resultaron ser los tratamientos más altos ya que aunque en los tratamientos III y IV la concentración de grados Brix fue mayor, la cantidad de kilogramos en peso fresco no fueron suficientes al momento de transformarlas en producto concentrado para superar la cantidad de producto concentrado que se obtuvo en los tratamientos T y I.

6.3.5. Kilogramos de hojas frescas por kilogramo de producto concentrado

En este caso los tratamientos T y I es en los que se necesita más cantidad de kilogramos frescos para elaborar un kilogramo de producto concentrado, por lo tanto los tratamientos III y IV son los que muestran una mejor relación de kilogramos frescos/kilogramo de producto concentrado, como puede observarse en el cuadro 14, ya que se necesitan menos materia prima que en los demás tratamientos.

Cuadro 14. Kilogramos de hojas frescas para elaborar un kilogramo de concentrado.

Rep Trat	a	b	c	d	media
T	63.86	67.42	66.64	62.31	65.06
I	64.94	69.04	64.94	62.48	65.35
II	65.69	63.16	60.66	62.65	63.04
III	62.14	58.96	62.31	61.15	61.14
IV	59.88	53.98	61.81	59.11	58.69

Aunque en el cuadro 13, los tratamientos T y I mostraron una mayor cantidad de producto concentrado que en los otros tratamientos, es importante mencionar que en los tratamientos III y IV el contenido de grados Brix fue más elevado y por lo tanto fueron necesarias menos kilogramos de hojas frescas para producir un kilogramo de producto concentrado, lo cual se traduce en una mayor eficiencia de la materia prima y por supuesto un menor costo de transformación de la misma dentro de la planta procesadora.

6.4. Análisis estadístico

Para realizar una comparación de los resultados obtenidos en los diferentes tratamientos evaluados, se realizó un análisis de varianza y una prueba de Tukey a cada una de las variables de respuesta en estudio para conocer si hay diferencias estadísticamente significativas y si es así, para saber cuál de los tratamientos es el que presenta mejores resultados.

6.4.1. Análisis de varianza

A continuación, en los cuadros 15, 16, 17 y 18; se presentan los análisis de varianza aplicados a cada una de las variables de respuesta a evaluar, siendo estas, el rendimiento en peso fresco de hojas, el grosor en la base de las hojas, contenido de grados brix en hojas enteras y kilogramos de hojas frescas para elaborar un kilogramo de producto concentrado respectivamente.

Cuadro 15. Análisis de Varianza para rendimiento en peso fresco de hojas de sábila en kg.

Fuentes de Variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	F calculada	F tabulada
Tratamientos	4.00	13397.98	3349.50	12.46	4.62
Repeticiones	3.00	2011.12	670.37	2.49	
Error	15.00	4030.88	268.73		
Total	19.00	17428.86			

Coefficiente de variación: 12.68%.

Cuadro 16. Análisis de Varianza para grosor de la base de las hojas de sábila en cm.

Fuentes de Variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	F calculada	F tabulada
Tratamientos	4.00	0.06	0.01	1.35	4.62
Repeticiones	3.00	0.08	0.03	2.45	
Error	15.00	0.15	0.01		
Total	19.00	0.21			

Coefficiente de variación: 6.44%.

Cuadro 17. Análisis de Varianza para contenido de grados Brix en las hojas enteras de sábila.

Fuentes de Variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	F calculada	F tabulada
Tratamientos	4.00	0.56	0.14	7.19	4.62
Repeticiones	3.00	0.03	0.01	0.48	
Error	15.00	0.29	0.02		
Total	19.00	0.86			

Coefficiente de variación: 5.02%.

Cuadro 18. Análisis de Varianza para kilogramos de hojas frescas/kilogramos de producto concentrado.

Fuentes de Variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	F calculada	F tabulada
Tratamientos	4.00	124.76	31.19	5.05	4.62
Repeticiones	3.00	10.35	3.45	0.56	
Error	15.00	92.66	6.18		
Total	19.00	217.42			

Coefficiente de variación: 3.97%.

De acuerdo a los resultados del análisis de varianza realizado, se observa que sí existen diferencias significativas entre tratamientos en las variables de rendimiento en peso fresco, contenido de grados Brix y cantidad de kilogramos frescos para elaborar un kilogramo de producto concentrado.

No siendo así para la variable de grosor de la base de las hojas, en donde no existió diferencia significativa, lo que indica que todos los tratamientos son adecuados para la elaboración de filetes de hoja de sábila.

6.4.2. Pruebas de Tukey

A continuación, en los cuadros 19, 20 y 21; se presenta la prueba de medias (Tukey) aplicada a cada una de las variables de respuesta que mostraron diferencias significativas en el análisis de varianza.

Cuadro 19. Prueba de Tukey para rendimiento en peso fresco de hojas de sábila en kg.

Tratamiento	Media	Grupo Tukey
I	159.21	A
T	154.31	AB
II	131.78	C
III	109.25	D
IV	91.61	E

La prueba de medias indica que los mejores tratamientos son el tratamiento I y el T, en los cuales el rendimiento en peso fresco es superior al de los demás tratamientos, y que el tratamiento IV es en el que se obtuvo el menor rendimiento. También puede observarse que a medida que la frecuencia de riego se hace más retardada, el rendimiento disminuye.

Cuadro 20. Prueba de Tukey para contenido de grados Brix en las hojas enteras de sábila.

Tratamiento	Media	Grupo Tukey
IV	3.08	A
III	2.86	B
II	2.75	C
T	2.64	D
I	2.62	DE

Si bien es cierto que a medida que aumenta el estrés hídrico en cada tratamiento, el rendimiento disminuye, se puede ver que la concentración de grados Brix aumenta, ya que en este caso sucede lo contrario que con el rendimiento.

Aquí el mejor tratamiento, es el IV, seguido del III y en cambio los tratamientos T y I que fueron los que más rindieron, son los que se encuentran más bajos en contenido de grados Brix, encontrándose al tratamiento II en un nivel intermedio en las dos variables, rendimiento y contenido de grados Brix.

Cuadro 21. Prueba de Tukey para kilogramos de hojas frescas/kilogramos de producto concentrado.

Tratamiento	Media	Grupo Tukey
IV	58.69	AB
III	61.14	B
II	63.04	C
T	65.06	D
I	65.35	E

El tratamiento que mejores resultados mostró es el tratamiento IV, en el cual es necesario utilizar menos cantidad de kilogramos de hojas frescas para elaborar un kilogramo de producto concentrado, y por el contrario, en los tratamientos T y I fue necesario utilizar una

mayor cantidad de kilogramos frescos para elaborar la misma cantidad de producto concentrado, lo cual se traduce en una mayor inversión económica y de tiempo para la planta procesadora.

De acuerdo con los resultados obtenidos durante la evaluación se puede establecer que los tratamientos con una frecuencia de riego de 7 días es en los que se obtiene un mayor rendimiento de peso fresco, sin embargo, el tratamiento en donde la frecuencia de riego es de 28 días muestra una concentración de grados Brix mayor que la de los demás tratamientos y en donde se necesita menor cantidad de materia prima para la elaboración del producto concentrado aunque sea el que más bajo rendimiento obtuvo. Mientras que el tratamiento II se encuentra en un nivel intermedio en todas las variables que se evaluaron.

7. CONCLUSIONES

1. De las frecuencias de riego ensayadas, ninguna permitió obtener un alto rendimiento en peso fresco y alta concentración de grados Brix simultáneamente, sin embargo, se obtuvo un alto rendimiento en peso fresco con una frecuencia de riego de 7 días y un alto contenido de grados Brix con una frecuencia de 28 días.
2. En cuanto a la cantidad de producto concentrado de la hoja de sábila (*A. vera* (L.), Burm. F.) obtenido al finalizar el procesamiento, los mejores tratamientos fueron los tratamientos con frecuencias de riego de 7 días, debido a la cantidad de kilogramos frescos que rindieron dichos tratamientos. Aunque el tratamiento que presentó mayor concentración de grados Brix fue el que se sometió a una frecuencia de riego de 28 días, la cantidad de kilogramos frescos cosechados no fueron suficientes para que el producto obtenido al final del procesamiento superara la cantidad de producto concentrado que se obtuvo en los tratamientos con frecuencias de riego de 7 días.
3. El tratamiento en el que se utilizó menos cantidad de kilogramos de hojas frescas para elaborar un kilogramo de producto concentrado fue el tratamiento con una frecuencia de riego de 28 días, en donde la concentración de grados Brix fue mayor. Esto significa que hay una menor inversión económica y de tiempo por parte de la planta procesadora para la elaboración de la misma cantidad de producto concentrado en el tratamiento con frecuencia de riego de 28 días que en los tratamientos con frecuencia de riego de 7 días.
4. El tratamiento con una frecuencia de riego de 14 días, mostró resultados intermedios respecto a todas las variables evaluadas, lo cual nos indica que aunque no se obtienen los rendimientos más altos, se obtienen hojas con una mejor concentración de grados Brix que con los tratamientos con una frecuencia de riego de 7 días.

8. RECOMENDACIONES

1. Continuar con el estudio de frecuencias de riego en el cultivo de sábila (*A. vera* (L.), Burm. F.), agregando más frecuencias de riego o espaciándolas unos días más ya que se demostró que soporta muy bien las condiciones de sequía y que sometiénola a un estrés hídrico aumenta su calidad en cuanto a contenido de grados Brix.
2. Elaborar ensayos de este tipo en cada una de las zonas productoras de sábila (*A. vera* (L.), Burm. F.) para determinar cuál es el comportamiento del cultivo bajo cada una de las condiciones de clima, suelo, altitud, etc., que se presentan en las distintas zonas de producción.
3. Mejorar el precio de compra de las cosechas de sábila (*A. vera* (L.), Burm. F.) por parte de la planta procesadora hacia los pequeños productores de acuerdo con la mejoría en la calidad de sus cosechas (calculado en grados Brix), para estimularlos a que no solo produzcan en cantidad sino también mejoren la calidad, ya que gracias a la investigación se observó que las plantas con un alto contenido de grados Brix, no pueden competir en rendimiento con las plantas que presentaron bajo contenido de grados Brix.
4. Con respecto a las parcelas productoras de la empresa, lo más recomendable es que se utilicen cosechas con alto contenido de grados Brix ya que presentan una mayor eficiencia al momento de la transformación de la materia prima en producto concentrado y por lo tanto se invierte menos recurso económico y de tiempo para la elaboración del producto concentrado.

9. BIBLIOGRAFÍA

1. Andrade, R. 1974. Los estudios del suelo en la planificación general del uso de la tierra. Mérida, Venezuela, CIDIAT. 114 p.
2. DGETA (Dirección General de Educación Tecnológica Agropecuaria, México). 1978. Riego y drenaje. México. 92 p.
3. Fassbender, H.W. 1983. Suelos y sistemas de producción agroforestales. Costa Rica, CATIE / GTZ. 149 p.
4. Firman, E.B. 1953. Soils and fertilizers. 4 ed. Inglaterra, John Wiley. 420 p.
5. Fitzpatrick, E.A. 1992. Suelos, su formación, clasificación y distribución. Trad. por Antonio Ambrosio. México, CECSA. 430 p.
6. Google Maps. s.f. Mapa del mundo (en línea). Google Maps. Consultado 07 nov. 2017. Disponible en http://google-maps.pro/satellite/Mapa_del_Mundo#14.850278,-90.089306,15
7. Grassi, J.C. 1998. Fundamentos del riego. Mérida, Venezuela, CIDIAT. 392 p.
8. Grassi, J.C. 1985. Diseño y operación del riego por superficie. Mérida, Venezuela, CIDIAT. 414 p.
9. INSIVUMEH (Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología, Guatemala). 2002. Registros meteorológicos de la estación Morazán, El Progreso, Guatemala. Consultado 20 set. 2002. Disponible en <http://www.insivumeh.gob.gt/meteorologia/ESTACIONES/EL%20PROGRESO/MORAZAN%20PARAMETROS.htm>
10. Kramer, P.J. 1974. Relaciones hídricas de suelo y plantas una síntesis moderna. Trad. por Leonor Tejeda. México, EDUTEX. 538 p.
11. Laboratorio de Análisis de Suelo y Agua, Facultad de Agronomía, USAC. 2003. Resultado de análisis de suelo de la parcela experimental. Guatemala. 1 p.
12. MAGA (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación, Guatemala). 1989. Cultivo de la sábila (*Aloe vera*). Guatemala, MAGA, Área de Reproducciones e Instrucciones a Distancia. 16 p.

13. Martínez, A.V.; Bernal, H.Y.; Cáceres, A. 1996. Fundamentos de agrotecnología de cultivos de plantas medicinales. Santa Fe de Bogotá, Colombia, Iberoamericana. 524 p.
14. Poder Natural. 2001. Compendio de la medicina natural y alternativa (en línea). 17 p. Consultado 20 set. 2004. Disponible en [http://www.podernatural.com/Plantas %20Medicinales/Plantas S/p_sabila.htm](http://www.podernatural.com/Plantas%20Medicinales/Plantas_S/p_sabila.htm)
15. Roque, J.M. 1941. Flora medico guatemalteca. Guatemala, Tipografía Nacional. 187 p.
16. Sábila, Laboratorio de Control de Calidad, Guatemala. 2003. Resultado de contenido de grados Brix de la cosecha de la parcela experimental. Guatemala. 1 p.
17. Salisbury, F.B.; Ross, C.W. 1994. Fisiología vegetal. Trad. por Biol. Virgilio González Velásquez. México, Iberoamérica. 759 p.
18. Sandoval Illescas, J.E. 1989. Principios de riego y drenaje. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 345 p.
19. Thorne, D.W.; Peterson, H.B. 1981. Técnica del riego, fertilidad y explotación de los suelos. Trad. por Luis Lepe. 2 ed. México, CECOSA. 496 p.
20. Wren, R.C. 1994. Nueva edición de medicina herbolaria y preparados botánicos. Trad. por Edwin Möller. 2 ed. México, Avelar Editores e Impresores. 591 p.
21. Zhang, X. 1999. WHO monographs on selected medicinal plants. Geneva, World Health Organization. 289 p.



 Rolando Barrera