2012

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTLA GUTIÉRREZ.

RESIDENCIA PROFESIONAL

Tema:

"Efecto del extracto de Matarratón (*Gliricidia sepium)* sobre la acumulación de azúcares (en hojas y tallos), en las plagas y crecimiento del *Agave americana L.* en plántulas menores de un año de edad".

ASESOR:

DR. JOAQUÍN ADOLFO MONTES MOLINA.

REVISORES:

DRA. PATRICIA GUADALUPE SÁNCHEZ ITURBIDE.

DR. REINER RINCÓN ROSALES.

Alumno: Néstor Antonio Joaquín Rodríguez.

Ingeniería Bioquímica

Tuxtla Gutiérrez; Chiapas. Diciembre 2012.

INDICE GENERAL

CAPITULO I. INTRODUCCIÓN 1

CAPITULO II. JUSTIFICACIÓN 4

CAPITULO III. OBJETIVOS 5

3.1 OBJETIVO GENERAL 5

3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS 5

CAPÍTULO IV. CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DONDE SE DESARROLLO EL PROYECTO 6

4.1 Historia de la empresa Balún Canán S. de R.L. de C.V. 6

4.2 Misión 8

4.3 Visión 8

4.4 Dirección de Balún Canán S. de R.L. de C.V. 8

4.5 Localización de los laboratorios de investigación y de biotecnología dentro de las instalaciones del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez. 8

CAPÍTULO V. PROBLEMAS A RESOLVER 10

CAPÍTULO VI. ALCANCES Y LIMITACIONES 10

CAPÍTULO VII. FUNDAMENTO TEÓRICO 11

CAPÍTULO VIII. MATERIALES Y MÉTODOS 41

8.1 Diseño Experimental 41

8.2 Preparación de los Tratamientos 43

8.2.1 Preparación del extracto de mata-ratón 43

8.2.2 Preparación de la *Beauveria bassiana* 43

8.2.3 Preparación de los Tratamientos Químicos 44

8.4 Variables de Crecimiento 45

8.5 Medición de Azúcares 45

CAPÍTULO IX. RESULTADOS Y DISCUSIÓN 46

CAPÍTULO X. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 54

10.1 Conclusión 54

10.2 Recomendaciones 54

CAPÍTULO XI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 55

12.1 Referencias Informáticas 58

CAPÍTULO XII. ANEXOS 59

CAPITULO I. INTRODUCCIÓN

El *Agave americana* L. es una planta perteneciente a la familia de las agaváceas y es endémica de América (Arizaga y Ezcurra, 1995). Su distribución en el continente se extiende desde el sur de los Estados Unidos hasta Venezuela incluyendo las islas del Caribe. Dentro de esta distribución, los países con el mayor número de ejemplares son México, Estados Unidos, Cuba y Guatemala.

El centro de mayor riqueza y diversidad se encuentra en México donde se distribuyen 261 especies (75% del total) con 177 endémicas (70%) (García-Mendoza, 2004; Eguiarte *et al*., 2000). El género más grande y diverso es Agave con 159 especies, 119 endémicas de México, cifra que representa el 74% (García-Mendoza, 2011).

Se encuentra en todos los estados de la republica mexicana, principalmente en Oaxaca, Durango, Puebla, Sonora, Chihuahua, Coahuila y Jalisco. Uno de los aspectos más importantes de este género es su presencia en zonas desérticas o semidesérticas donde desempeñas un papel ecológico al acumular agua en sus rosetas evitando de esta manera la erosión del suelo.

Con la llegada de los españoles a América, el cultivo de los agaves fue llevado a otras regiones de Norteamérica, e incluso a otros continentes. Un ejemplo de esto es la especie *Agave americana*, llevada por los europeos a las islas Azores, Canarias y gran parte de la cuenca del Mediterráneo, en donde se convirtió en una especie ornamental muy importante. En este aspecto destacan también las especies productoras de fibra como *A. cantala* y *A. sisalana*, que fueron la base de industrias coloniales de gran importancia en Indonesia, Filipinas y África del Este (Mounir, 2011).

Las especies del genero *Agave* son monocotiledóneas de tipo herbáceas, que prosperan en zonas semiáridas, se caracterizan por su tallo corto, presencia de hojas gruesas y carnosas dispuestas en forma de roseta, teniendo cada hoja, hileras de espinas en los bordes y una espina prominente en el ápice de la hoja, florean solamente una vez en toda su vida, aproximadamente después 30 años, y mueren después de esta floración

La palabra agave, conocida comúnmente como “maguey” proviene del griego “admirabilis” que significa “admirable” (Rodríguez *et al*., 1996). El agave ocupa un lugar muy importante dentro de la cultura del pueblo mexicano, ya que se consideró como una

planta sagrada por los antiguos pobladores. Para la cultura náhuatl, el agave era una creación divina que representaba a la diosa Mayahuel.

Las especies de esta familia, se ha utilizado con usos medicinales, fuente de alimento, extracción de fibras, elaboración de bebidas, como plantas de ornato por la simetría de su forma, obtención de azúcares, celulosa, papel, combustible, productos químicos, sapogeninas, ensilaje para ganado, etc. Los agaves utilizados para la elaboración o extracción de bebidas, son un recurso natural con un elevado potencial e importancia económica (Valenzuela, 1995). Su uso y aprovechamiento representan una alternativa productiva sustentable a través del desarrollo y aplicación de estrategias productivas basadas en sistemas de manejo agrícola y procesos de producción específicos, para la obtención de productos destinados a un mercado especializado que incluyen tanto taxones silvestres como cultivados (especies, subespecies, variedades).

Las bebidas que se extraen de plantas del género Agave, han alcanzado fama a nivel tanto nacional como internacional. En México, el pulque, es una bebida de larga tradición, obtenida de la fermentación del aguamiel; sin embargo, en la actualidad se ha incrementado el consumo de bebidas que una vez fermentadas se destilan, tal es el caso de los mezcales (García-Mendoza, 1998).

En nuestro estado de Chiapas, se encuentra principalmente en el municipio de Comitán de Domínguez, pues se usa como recurso natural para la producción de una bebida alcohólica, conocida como comiteco; motivo que ha ocasionado que en los últimos años se demanden mas ejemplares.

Sobarzo Peña, (2008) explica que la colecta excesiva y la destrucción del hábitat natural del *A. americana* L. han provocado una enorme disminución de esta especie, aclara que hasta el 2008 no existía un lote de semillas que abasteciera la actividad agrícola del agave. Aún con la importancia económica que puede representar para los pobladores, debido a que es usado para la obtención de una bebida espirituosa tradicional denominada "Comiteco", solo se ha utilizado como recurso natural y no se ha tenido la precaución de prever la reproducción de la especie.

Para proteger los ecosistemas y la inocuidad de los productos agrícolas, la ONU (Organización de las Naciones Unidas) por medio de la OMS (Organización Mundial de la Salud) y FAO (Organismo para la agricultura y la alimentación) han propuesto nuevas herramientas como fitoprotección y mas recientemente el surgimiento del MIP (Manejo Integrado de Plagas) para controlar las plagas sin necesidad de utilizar insecticidas (Aragón, 2005).

Por eso por medio del presente proyecto de nombre “Efecto del extracto de Mata-ratón (*Gliricidia sepium)* sobre la acumulación de azúcares (en hojas y tallos), en las plagas y crecimiento del *Agave americana* L. en plántulas menores de un año de edad”, se busca demostrar que el extracto de mata-ratón es una alternativa de uso de plaguicidas sin dañar o alterar el crecimiento de las plantas.

Esto es ya que a raíz de que se empezaron a sintetizar diversos compuestos que muestran una eficacia casi incomparable, el hombre ha hecho uso de estos elementos sin darse cuenta de la repercusión que estos compuestos traen hacia el ambiente, ya que dañan tanto el aire como el suelo y el agua, deteriorando así la capacidad del suelo de cultivar o hacer uso integral del suelo.

A pesar de esto, aunque parezca un poco tarde, debemos actuar pronto para recuperar nuestros ecosistemas y no dañar los que aun se mantienen saludables. Así pues debemos buscar alternativas de todo tipo para poder seguir teniendo cultivos libres de plagas pero sin dañar con posterioridad al ecosistema, una de estas es el uso de extractos de hojas o tallos de plantas como se muestra en el presente trabajo.

Las plantas que muestran esta actividad repelente de insectos se pueden aplicar en forma de extractos. La preparación de extractos vegetales purificados o totales, estandarizados cualitativa y cuantitativamente parece ser una alternativa viable, ética y barata.

Se ha encontrado que el árbol de mata-ratón, en sus hojas y raíces, posee ciertas sustancias como cumarinas y taninos condensados, que son útiles en el control de plagas de insectos en ciertos cultivos como tomate (Montes *et al.*, 2010).

Por todo esto se tiene como objetivo en el presente trabajo evaluar el efecto del extracto de mata-ratón sobe los insectos plaga del *A. americana* y evaluar si altera el crecimiento de la planta, por lo que se evaluaran los parámetros de crecimiento como: altura, diámetro de la planta.

CAPITULO II. JUSTIFICACIÓN

El genero agave es de suma importancia cultural, histórica, económica y ecológica. Ya que es un genero representativo de México a nivel mundial. Por eso, específicamente la especie *Agave americana* L., se debe hacer énfasis en el estudio y desarrollo de técnicas que permitan la propagación y conservación de esta especie, especialmente en el estado de Chiapas, ya que es un cultivo de importancia económica.

Esto es debido a que en el estado de Chiapas este cultivo es utilizado principalmente para la producción de una bebida espirituosa llamada Comiteco, lo cual representa una opción de reconversión productiva, principalmente en la Meseta Comiteca.

En la actualidad, los agricultores buscan una forma de aumentar la producción, lo cual ha provocado un uso excesivo de insecticidas sintéticos, ya que el rendimiento de los cultivos de *A. americana* L. se ve reducido por la acción de insectos plaga que afectan a los cultivos. Como esto no es deseable, entra en juego el uso indiscriminado de dichos insecticidas.

Se tiene evidencia que el extracto de mata-ratón controlo la plaga de la mosquita blanca (*Bemisia tabaci*) en cultivos de tomate (*Solanum esculentum*) (Montes *et al.*, 2010).

Por todo esto en el presente trabajo se pretende proveer una alternativa de uso de plaguicidas de origen orgánico, ya que se pretende utilizar el extracto de las hojas de mata-ratón (*Gliricidia sepium*), el cual es un árbol de fácil propagación en el estado.

Esto es gracias a que empresas como Balún Canán S. de R.L. de C.V., que elaboran la tradicional bebida “Comiteco”, tienen la iniciativa de preservar la especie y ampliar el cultivo de la misma. Así en conjunto con dicha empresa se buscara obtener resultados óptimos para demostrar que la aplicación del extracto antes citado es efectiva para controlar las plagas que afectan a los cultivos del *A. americana* L., y aumentar así los rendimientos del cultivo en la región de la Meseta Comiteca.

CAPITULO III. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Evaluar el efecto del extracto de Mata-ratón sobre la acumulación de azúcares, plagas y crecimiento de *Agave americana* L. en plántulas de menor de un año.

3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Evaluar el efecto del extracto de Mata-ratón sobre acumulación de azúcares en tallos y hojas, en hijuelos de seis meses de edad de *Agave americana* L.

- Evaluar el efecto del extracto de Mata-ratón (*Gliricidia sepium*) sobre las plagas de hijuelos de seis meses de edad de *Agave americana* L.

- Evaluar el efecto de extracto del Mata-ratón sobre el crecimiento de hijuelos de seis meses de edad de *Agave americana* L.

CAPÍTULO IV. CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DONDE SE DESARROLLO EL PROYECTO

4.1 Historia de la empresa Balún Canán S. de R.L. de C.V.

La Empresa Balún Canán, genera beneficios a la región comiteca ya que tiene como objetivo el rescate, fortalecimiento, propagación y el usufructúo de bienes del agave comiteco, que consiste en gestar una pequeña industria artesanal en los campos y darle fortaleza al empleo con enfoque de género.

El gerente general de la empresa Balún Canán; es Carlos Jorge Guillén Gordillo, quien explica que este proyecto surgió en el 2008 subsidiado por la Secretaría de Campo y abarca nueve municipios colindantes a Comitán y 16 localidades donde todavía se encuentra el material vegetativo del maguey comiteco.

A los tres años de haberse fundado comenzaron a generar el rescate y fortalecimiento del agave, una especie originaria de este municipio y que hoy por hoy cuentan con 50 mil hijuelos que reproducen cada seis meses para cumplir con las metas que establece la Secretaría del Campo que son: 2 mil 700 hectáreas de agave en fase de reconvención productiva.

Los productos que presentan abarca desde la etapa cero a la uno, con la elaboración de mieles o el sirope de agave, que es un producto que fomenta el desarrollo de la industria rural. Con este proyecto se logra generar una plantilla de más de 25 empleados de forma directa y más de 60 empleos indirectos que laboran en los campos.

Actualmente tienen embodegadas una gran cantidad de producto que envasarán en las instalaciones que se ubican en el tramo carretero Comitán, las Margaritas en el kilómetro 05. Se distribuyen por el momento en todos los restaurantes.

La empresa se estructura en tres fases:

Fase I- Campo: a) Planta piloto que permita la innovación tecnológica para la reproducción, establecimiento, producción y aprovechamiento integral del agave comiteco. B) Área experimental magueyera madre implementada con cultivo orgánico. c) Laboratorio equipado con tecnología de punta para investigación del agave comiteco.

Fase II- Planta productora de comiteco, ron aguardiente de caña, vinos y licores. Implementada con equipos diseñados ex profesamente para bebidas espirituosas 100% destiladas.

Fase III- Comercialización del producto final:

- Con el sello distintivo de originalidad Marca Chiapas
- Protegido por marca colectiva
- Con registro de marca comercial posesionada, comercialmente 8 años
- Producto único en el mercado con venta. Comerciales, estatales, nacionales e Internacionales.
- Plan de mercadotecnia y promoción.
- Nuestra línea exclusiva de productos de Bebidas espirituosas.

Productos de la línea comiteco “Tres lobos”:

- Blanco
- Añejo
- Solera Sangre de Rey

La economía que presenta actualmente nuestro mercado, requiere de un producto de calidad que ofrezca al consumidor final un costo accesible que frene la competencia desleal de empresas que elaboran productos con origen dudoso, de muy baja calidad, mismos que se comercializan a precios muy bajos.

El comiteco es una bebida 100% destilada, clasificada como única, tiene su origen a partir del maguey comiteco, (*Agave americana*) tax-silvestre catalogada como planta endémica, que se cultiva exclusivamente en el estado de Chiapas. El comiteco se elabora fermentando el aguamiel del *Agave americana* L. enriqueciéndolo con algunas arrobas de piloncillo o panel de la región.

Forma parte de la tradición mezcalera de México, junto con el tequila, el sotol, el bacanora y los mezcales de Oaxaca y Guerrero, bebidas que se elaboran de manera diferente ya que en su proceso de producción se someten a cocimiento las piñas de los diferentes tipos de agave que se cultivan en estos estados.

Para el consumidor final, además de su comercialización como producto conocido regionalmente, puede obtener la certificación de atributos como producto orgánico artesanal y con denominación de origen, que permitirá una proyección del producto en mercados de mayor poder adquisitivo como son los productos gourmet.

4.2 Misión

Rescatar el agave comiteco, su fortalecimiento, propagación y usufructo de productos que se pueden generar y que es muy amplio, ya que a través de esta planta se procesan combustibles ecológicos a base de carbón vegetal, el sirope o miel de agave, licores y la terminación de madurez de la planta con la que se produce la bebida regional, Comiteco, bebida que es familia del tequila y del mezcal.

4.3 Visión

Generación de micro agroindustrias rurales, creación de fuentes de empleo con enfoque de género.

4.4 Dirección de Balún Canán S. de R.L. de C.V.

La empresa Balún Canán S. de R.L. de C.V. se encuentra en la Carretera Comitán a Margaritas; km 5.5.

4.5 Localización de los laboratorios de investigación y de biotecnología dentro de las instalaciones del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez.

El estudio de las muestras de *Agave americana* L. para la medición de azucares, se realizó en el Laboratorio de Investigación en las instalaciones del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez. También esta señalado el Laboratorio de Biotecnología donde nos prestaron material como: balanza granataria, probetas, goteros etc., para la realización de este proyecto. Ver el esquema de abajo.

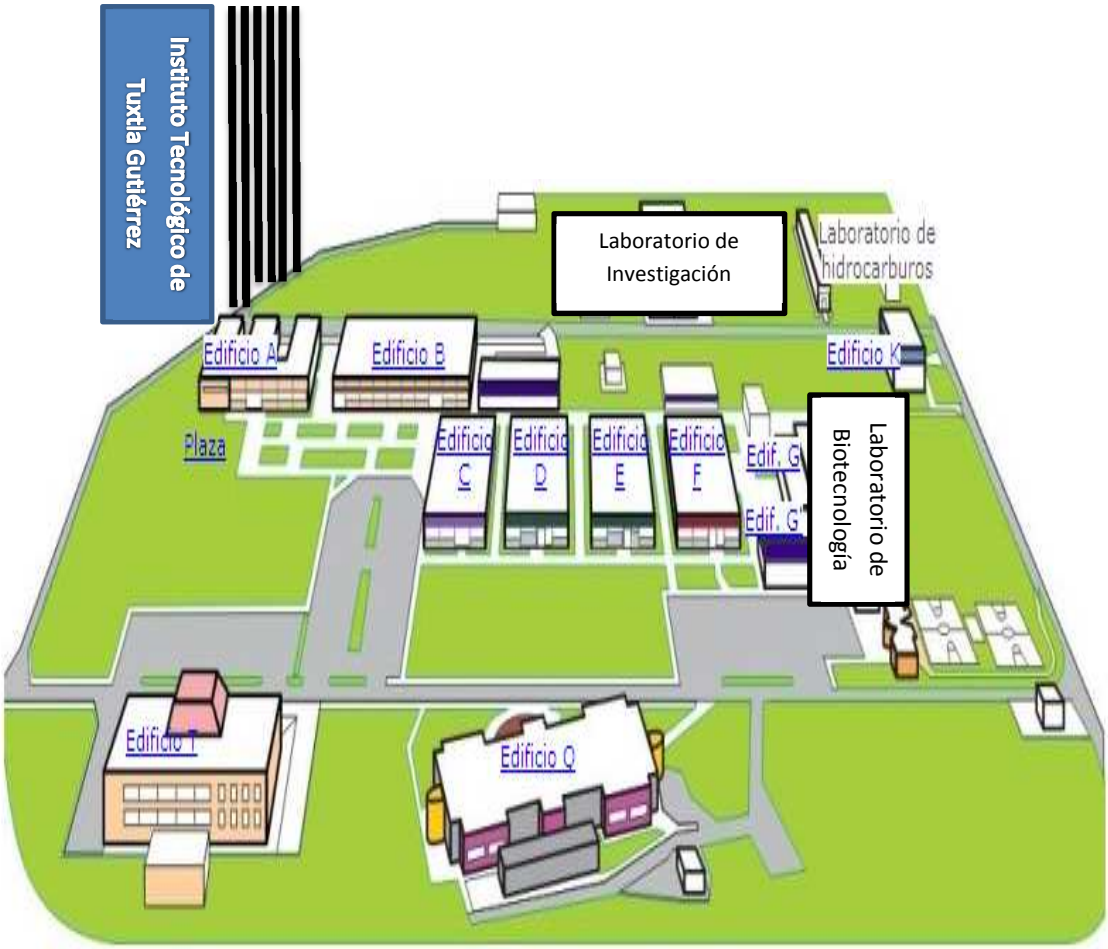


Figura 1. Instalaciones del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez.

CAPÍTULO V. PROBLEMAS A RESOLVER

En la actualidad la empresa Balún Canán S. de R.L. de C.V. están renovando los campos de cultivo de agave comiteco, con la finalidad de utilizar su miel para la fabricación de la bebida espiritual llamada Comiteco; gran parte de los cultivos fueron destruidos por plagas o por falta de mantenimiento, sin embargo con el uso de la miel y elaboración de la bebida espiritual, los productores están anuentes en volver a generar estos cultivos, el apoyo brindado por el gobierno del estado apoyando a este proyecto hace importante la participación de nuestra institución en diferentes áreas, nuestro estudio tuvo como objetico evaluar el efecto de extractos vegetales, agentes químicos y bacterias insecticidas sobre el desarrollo, plagas y contenido de azucares, en la planta de agave comiteco y para poder ser usados en el campo de productores y combatir las plagas y enfermedades causadas por estas.

CAPÍTULO VI. ALCANCES Y LIMITACIONES

En este estudio se pretendió conocer las plagas que afectan al agave comiteco y tratar las plantas con insecticidas naturales comparando su acción con agentes químicos, por lo que de acuerdo con otros trabajos realizados con otros cultivos nos indica que podemos controlar las plagas, que afectan este cultivo sin dañar su crecimiento ni su contenido de azucares.

Como limitante es que no contamos con el presupuesto para la realización del proyecto que no tengamos al alcance las plantas de agave para poder analizarlas.

CAPÍTULO VII. FUNDAMENTO TEÓRICO

La familia Agavaceae es endémica de América (Arizaga y Ezcurra, 1995). Se distribuye desde el sur de los Estados Unidos (con dos especies disyuntas en Florida) hasta Colombia y Venezuela. Esta área incluye todas las islas del Caribe, desde las Bahamas a Aruba, Curazao y Trinidad y Tobago. Los países con el mayor número de taxones son México, Estados Unidos, Cuba y Guatemala.

Está conformada por nueve géneros y 340 especies (García- Mendoza, 2011). El centro de mayor riqueza y diversidad se encuentra en México donde se distribuyen 261 especies (75% del total) con 177 endémicas (70%) (García-Mendoza, 2004; Eguiarte *et al.*, 2000). El género más grande y diverso es Agave con 159 especies, 119 endémicas de México, cifra que representa el 74% (García-Mendoza, 2011).

En Europa Occidental se cuenta con dos especies naturalizadas (TUTIN *et al.*, 1980): *Agave americana* L. y *Agave atrovirens* Karw. La Península Ibérica cuenta con 55 taxones cultivados como ornamentales. La especie *A. americana* es la más extendida comúnmente en la Comunidad Valenciana y en el Mediterráneo. (Valdés *et al.*, 1987).

En México el género Agave es de distribución amplia, se encuentra en más del 75% del territorio; sin embargo, su distribución es altamente asimétrica, hay regiones que poseen más especies que otra.

Un ejemplo es *Agave angustifolia*, que se encuentra en gran parte de las selvas secas del país, desde el estado de Sonora hasta el estado de Chiapas y en la Península de Yucatán. Crece desde el nivel del mar hasta los 2500 msnm. *A. angustifolia* se usa en Sonora para hacer el "mezcal bacanora" y constituye la materia prima para la mayor parte del mezcal que se produce en Oaxaca, donde se conoce como maguey espadín. Ha sido introducido a cultivo y éste se extiende cada vez más a otros estados. En otras partes del país el maguey es más fibroso y se usa preferentemente para extraer *ixtle*, una fibra con muchos empleos. Una variedad de *A. angustifolia* originó el henequén, *Agave fourcroydes,* de gran importancia económica en la historia de Yucatán.

El *Agave rhodacantha*, también tiene una amplia distribución. Crece en la Sierra Madre Occidental, en las montañas y valles con bosques de pino-encino y en los bosques secos de la vertiente del Pacífico. Hacia el sur, se encuentra en los lomeríos con bosques secos del Bajío, extendiéndose hacia el Eje Neovolcánico y bajando hasta las montañas y lomeríos del Balsas. Su distribución termina en los bosques de pino-encino de la Sierra de Oaxaca y bosques secos del Pacífico Sur.

El *Agave tequilana*, el famoso maguey azul, utilizado para obtener tequila, se cultiva principalmente en Jalisco, Michoacán, Guanajuato y Nayarit. Tamaulipas, incluido en la

denominación de origen del tequila, no es parte del área de distribución natural de este agave.

Otras especies ocupan áreas muy reducidas. Por ejemplo, el maguey papalote*, Agave cupreata*, crece sólo en la cuenca del río Balsas o Mezcala, en la parte que corresponde a Guerrero, Michoacán, Morelos y Oaxaca.

El *Agave salmiana* subespecie *crassispina* crece en Tlaxcala, Hidalgo, Querétaro, San Luis Potosí y Zacatecas. En las grandes haciendas de San Luis Potosí y Zacatecas se llegaron a producir enormes volúmenes de mezcal a partir de esta especie; hasta la fecha sobreviven algunas de ellas. En el Altiplano, sus parientes cercanos son los magueyes pulqueros por excelencia.

Agave karwinskii y *Agave americana* variedad *oaxacensis*, crecen sólo en ciertas partes de Oaxaca; el primero, conocido como cirial se utiliza principalmente como cerco vivo. Se reconoce fácilmente por su tallo bien diferenciado. Agave americana variedad oaxacensis, conocido como "arroqueño" es una planta de gran tamaño con espinas pequeñas y una gran inflorescencia. Cuando florece, después de 10 a 15 años de crecimiento, produce muchas semillas, aunque las plantas pueden generar hijuelos a lo largo de su vida. Esta especie se utiliza también para la obtención de fibra, y por el tiempo que tarda en madurar, se cultiva sólo a nivel local (doméstico) lo que lleva a una producción limitada en el mezcal.

El Agave (griego "maravilla") brinda al hombre alimento, bebida, material para artesanía, alimento para el ganado, cuidado e higiene personal, etc. Dentro de estos usos están la elaboración artesanal de jarabes y bebidas alcohólicas a partir del aguamiel que exuda al hacer una herida en el corazón del Agave.

Los agaves utilizados para la elaboración o extracción de bebidas, son un recurso natural con un elevado potencial e importancia económica (Valenzuela, 1995). Su uso y aprovechamiento representan una alternativa productiva sustentable a través del desarrollo y aplicación de estrategias productivas basadas en sistemas de manejo agrícola y procesos de producción específicos, para la obtención de productos destinados a un mercado especializado que incluyen tanto taxones silvestres como cultivados (especies, subespecies, variedades).

Las bebidas que se extraen de plantas del género *Agave*, han alcanzado fama a nivel tanto nacional como internacional. En México, el pulque, es una bebida de larga tradición, obtenida de la fermentación del aguamiel; sin embargo, en la actualidad se ha incrementado el consumo de bebidas que una vez fermentadas se destilan, tal es el caso de los mezcales (García-Mendoza, 1998).

En Chiapas, la especie que mas se cultiva es *Agave americana* L., y se cultiva en la región de la Meseta Comiteca desde mediados del siglo XIX (Secretaría de Economía, 2009)

Actualmente éste cultivo es considerado como una opción promisoria de reconversión productiva para algunos municipios de la Meseta Comiteca del estado de Chiapas, por lo que diversos actores están promoviendo su explotación a mayor escala, como lo es la empresa Balun Canan S. de R.L. de C.V., que elabora una bebida tradicional de la región conocida como "Comiteco".

La especie *Agave americana* L. es la más conocida y su morfología en general es: Las hojas se desarrollan y se disponen en forma de roseta sobre su eje que no se ve, se van desarrollando llegando alcanzar más de 1.50 m de largo, disposición que favorecen la captación de agua y el transporte al sistema radicular del *Agave*. Las hojas son gruesas y fibrosas disponiendo en sus bordes (*aréolas*) laterales fuertes espinas foliares lignificadas, con una gran púa termina en el ápice de la hoja.

El nombre científico *Agave americana* L., fue publicado por primera vez en "Species plantarum" por Carl Linné (1753). Su clasificación científica es:

Reino: *Plantae*

Filo: *Magnoliophyta*

Clase: *Liliopsida*

Orden: *Asparagales*

Familia: *Agavaceae*

Género: *Agave*

Especie: *Agave americana*

Variedades: *Agave americana* L.*, A. americana americana, A. americana marginata, A. americana expanda, A. americana medio-picta, A. americana latifolia, A. americana oaxacensis* (Hristov, 2004).

Aspectos botánicos de *Agave americana* L.

El *Agave americana* L. es una planta perenne *acaule* (latín: sin tallo), donde su corazón o meristemo está cubierto por grandes hojas dispuestas en forma de roseta (Hristov, 2004).

El meristemo del *Agave americana* L. es rico en carbohidratos no estructurales de reserva, los cuales constituyen el aguamiel que exuda al hacer una herida en este (Rendón *et al*., 2007).

Las hojas son de color verde grisáceo, en una planta adulta miden aproximadamente entre 1.2 y 2.00 metros de largo, son lanceoladas y carnosas, ligeramente cóncavas hacia arriba,

son pecíolo y con un ancho en la base de hasta 30cm, poseen bordes firmes con una hilera de espinas, terminando en el vértice con una espina de 3-5 cm de largo. La superficie de las hojas esta cubierta por una membrana resistente y blanquecina. En el espesor de las hojas se encuentra fibras longitudinales muy resistentes y maleables, las que son utilizadas como fibra para la fabricación de artesanías, saquillos y otros usos (Bautista, 2006). Estas características se pueden apreciar en la figura 1, donde se muestra la planta completa (figura 2, inciso A) y sus partes principales como la punta de cada hoja (figura 2, inciso B), los dientes en la orilla de las hojas (figura 2, inciso C) y las hojas en si del agave (figura 2, inciso D).

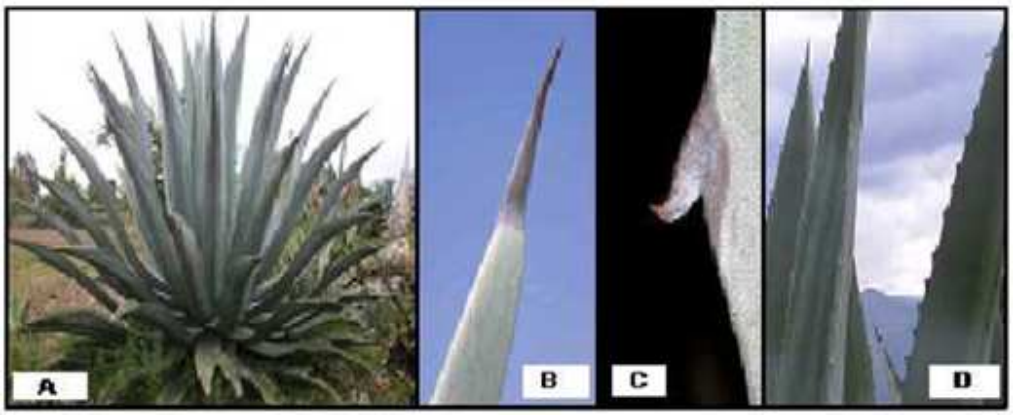


Figura 2. Aspectos botánicos del *Agave americana* L. Fotografías: A-*Agave americana* L.; B-ápice de la hoja; C-diente lateral de la hoja; D-hojas del agave.

Las hojas poseen células especializadas para el almacenamiento de agua. Poseen una cutícula dura, una adaptación para prevenir la pérdida de agua en zonas desérticas. Así el agua almacenada durante la época de lluvias permite que las plantas sobrevivan durante algún tiempo en ausencia de suministro de agua del exterior.

Las hojas viven durante mucho tiempo, 12-15 años, a menudo durante el ciclo completo del individuo. Toda el agua y la capacidad energética de la planta se encuentran almacenadas en éstas como reserva de energía para la floración.

Las raíces son fibrosas, con crecimiento radial. Las más viejas son gruesas, mientras las jóvenes son finas y muy ramificadas, lo que supone una adaptación para la captación de agua en zonas desérticas.

Desde el vértice del meristemo, en el centro de la gigantesca roseta, surge verticalmente hacia arriba el tallo floral, que florece una sola vez en su vida y muere tras esa floración, fenómeno conocido como monocarpismo (Bizer, 2008).

Las flores cuentan con seis tépalos, en general de color amarillo o dorado, pero también pueden ser rojos. Los tépalos están soldados en la zona inferior, en un tubo que puede ser largo o corto y posee una constricción sobre el ovario, que posee numerosos óvulos. Los estambres son seis con anteras aplanadas.

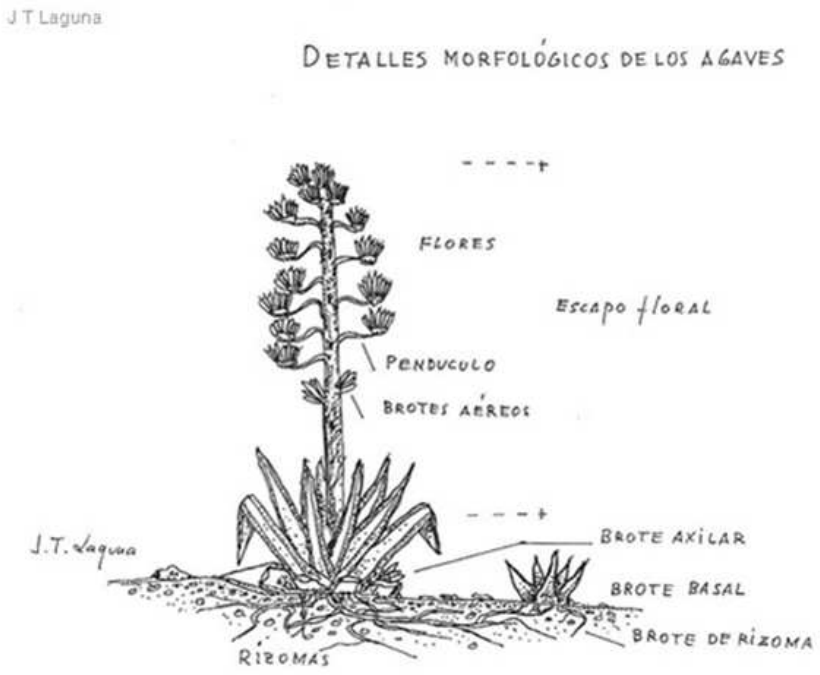


Figura 3. Detalles morfológicos del agave.

Las inflorescencias son en general espectaculares variando de 1.8 m a más de 12 m de longitud, se puede apreciar en la figura 5 (izquierda), donde observamos un agave con su inflorescencia desarrollada. El estilo de la inflorescencia en el *A. americana* L. es en forma de panícula. Las flores en la inflorescencia comienzan a abrirse desde la base hacia el ápice, en la figura 3 podemos observar mejor la descripción. El fruto de esta floración es una cápsula, en la mayoría de los casos dehiscente longitudinalmente cuando madura, pero permanece en la planta durante meses. Las semillas son negras aplanadas y muy numerosas, como se muestra en la figura 5 (derecha).

Figura 4. Inflorescencia del *A. americana* L.

Figura 5. Izquierda: *A. americana* L. con su inflorescencia. Derecha: Semillas de *A. americana* L.

Los agaves se pueden propagar mediante bulbillos que son brotes vegetativos que se generan en los pedúnculos florales, en el tallo y entre una hoja y otra (brote axial), sin embargo para el *Agave americana* L. esta prácticamente no es usual, ya que no es común hallar dichos brotes vegetativos, o son muy escasos. En el *Agave americana* L.

principalmente se utilizan los hijuelos que nacen desde los rizomas de la planta madre, para posteriormente ser trasplantados cuando alcanzan una altura hasta de 50 cm. Estos se pueden apreciar en el esquema de los detalles morfológicos del agave en la figura 3.

Las flores producen abundante néctar con el cual atraen a sus polinizadores naturales, colibríes, murciélagos o insectos, según las diferentes especies de Agave (Arizaga *et al.*, 2000). En general, los caracteres florales sugieren la adaptación a la polinización por murciélagos o quiropterofilia, presentan flores robustas y claras (generalmente robustas o blanco-verdes) que producen polen rico en proteínas (Rocha *et al.*, 2005).

La Boston Society of Natural History (1866-1869) relata: *"En el tiempo de la floración del Maguey (Agave) con el cual las laderas y las cumbres de esas montañas se cubre (Cerro Colorado, Cerca Tehuacán), los cuervos se juntan allí en gran abundancia, …las flores del agave es su comida favorita, como es también para otros pájaros, columpiándose en la dulzura de miel de su corola"*.

Propio de terrenos altos y semiáridos, con escasas lluvias, con temperaturas templadas y frías, suelos resecos y duros. La temperatura varía según la especie (de 19 a 32 °C), con una humedad de 70-90% a una altura aproximada de 1300 a 2820 m.s.n.m.

Requiere de luz intensa, aunque también crece bien a pesar de que no esté a pleno sol. Un lugar soleado y bien aireado previene problemas de salud. El suelo debe estar bien drenado para evitar la acumulación de humedad que podría propiciar la aparición de hongos.

Tolera la sequía, frecuentemente los únicos supervivientes en jardines abandonados, son valiosos para plantaciones que no necesitan cuidados ni riego.

La siembra de plantas nuevas (hijuelos) debe ser con espacios de: 1.5 m entre plantas y 3-4 m para las calles para poder transitar. Se debe tener entre 2000 y 3000 plantas por hectárea y se deben plantar al inicio de la época de lluvias.

Para el cultivo de las plantas se debe seleccionar un terreno de preferencia plano, sin muchos accidentes. Se debe limpiar para evitar las piedras grandes. Se traza la plantación según las curvas de nivel del terreno. Se hace un hoyo de aproximadamente 20x30 cm separando la capa más fértil de la otra tierra. Se fertiliza poniendo en el fondo materia orgánica y se abona cada 4 o 5 años, con estiércol de ganado vacuno o caprino descompuesto, de diciembre a marzo con 4 a 6 Kg por planta. Se debe controlar la maleza que crece alrededor de las plantas ya sea con sistemas manuales o por medios químicos sin afectar a la planta. En caso de enfermedad realizar aspersiones con productos para controlara las enfermedades dadas.

Los métodos tradicionales de cosecha según el producto a obtener son los siguientes:

- **Cosecha para aguamiel.** Cuando la planta ha alcanzado el punto de madurez previo a la salida de la inflorescencia, es el momento idóneo para la elaboración del orifico donde se acumulará el aguamiel, cortando unas pocas hojas que obstaculizan el acceso al corazón de la planta. Asimismo si se desea obtener el corazón o "piña" el estado de madurez es el mismo, ya que en este estado el corazón se encuentra cargado de nutrientes y carbohidratos de reserva para la inminente salida de la inflorescencia.
- **Cosecha para flores de *A. americana* L.** Se debe esperar la aparición de la inflorescencia y esperar el momento de maduración de las flores, conocidas también como alcaparras en algunos países (Ecuador).
- **Cosecha de hojas para la alimentación de ganado.** Se realiza el corte desde la base de las hojas en un agave maduro. En una sola ocasión en la vida de la planta se cortan la totalidad de las hojas dejando únicamente el corazón de la planta el que también puede ser usado para alimentación del ganado.
- **Cosecha para fibra de *A. americana* L.** El *A. americana* L. no es comúnmente usada para la extracción de fibra, seguramente porque la mayor cantidad de pulpa y jugos de la hoja- en comparación con otros agaves-, dificultan el "tallado", es decir la extracción de la fibra a mano. (MAG, 1965).

Plagas y enfermedades del *A. americana*

El concepto plaga ha evolucionado con el tiempo desde el significado tradicional donde se consideraba plaga a cualquier animal que producía daños, típicamente a los cultivos. Actualmente debe situarse al mismo nivel que el concepto de enfermedad de forma que debe entenderse como plaga a una situación en la cual un animal produce daños económicos, normalmente físicos, a intereses de las personas (salud, plantas cultivadas, animales domésticos, materiales o medios naturales); de la misma forma que la enfermedad no es el virus, bacteria, etc., sino la situación en la que un organismo vivo (patógeno) ocasiona alteraciones fisiológicas en otro, normalmente con síntomas visibles o daños económicos.

Los principales insectos plaga que afectan al cultivo del agave son: El barrenador de la penca (*Acentrocneme hesperiaris* Walk) y el picudo del agave (*Scyphophorus acupunctatus* Gyllenhal) (Solís *et al.,* 2001), la gallina ciega (*Phyllophaga spp.*), la chinche del agave (*Caulotops agavis* Reuter), el piojo harinoso (*Pseudococcus agavis*), el escarabajo rinoceronte (*Strategus oleus*), escama armada (*Acutaspis agavis*). (ASERCA, 2000)

- **Barrenador de la penca.** El *Acentrocneme hesperiaris* es la larva de una mariposa que hace orificios en las pencas bajas del maguey, hacia el corazón de la planta para alimentarse y la larva va creciendo en las hojas, pencas y raíces del maguey.

Es de color blanco (excepto en la cabeza y las extremidades que son pardas) como podemos observar en la figura 6, en México se come frito. Está emparentado con el chincuil que es también un gusano comestible parásito del maguey, pero de color rojo.

Se obtiene del centro del maguey después de las épocas de lluvia, por lo que la extracción de unos 3 o 4 gusanos (no se obtienen más) ocasiona la pérdida de la planta que ya de por sí requiere de varios años para llegar a su madurez y por ser raspada para la obtención de agua miel.

Clasificación científica:

- Reino: Animalia
- Filo: Arthropoda
- Clase: Insecta
- Suborden: Glossata
- Familia: Hesperiidae
- Género: *Acentrocneme*
- Especie: *A. hesperiaris.*

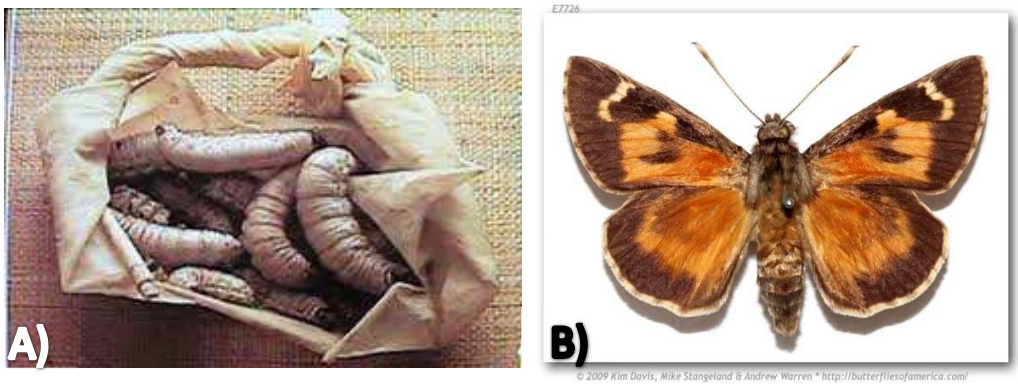


Figura 6 A) Larva; B) Adulto

- **Picudo.** Es una especie de coleóptero polífaga de la familia de los Curculionidae propio de América. Es una de las principales plagas que atacan la yuca y varias especies de maguey (*Agave spp.*, entre ellos el maguey pulquero (*Agave salmiana*) y el maguey azul (*Agave tequilana*), de los que se produce el mezcal y el tequila respectivamente, el *Agave americana*, empleado como ornamental, y el *Agave sisalana*, empleada para la obtención de fibra sisal. Su larva, conocida como "gusano rojo" o "gusano del maguey", es precisamente la especie que se emplea habitualmente para dar sabor al mezcal.

Clasificación científica:

- Reino: Animalia

- Filo: Arthtopoda
- Clase: Insecta
- Orden: Coleoptera
- Suborden: Polyphafga
- Superfamilia: Curculionoidea
- Familia: Curculionidae
- Género: Scyphophorus
- Especie: *S. acupunctatus.*

El picudo del agave, *Scyphophorus acupunctatus* Gyllenhal, es considerado la plaga más importante de los agaves cultivados en el mundo (Waring y Smith 1986), siendo el mayor problema entomológico en el cultivo del *Agave tequilana* Weber (Amaryllidaceae) en México (Fucikovsky y Velázquez 2002; Fucikovsky 1999, Solís et al. 2001) y del sisal, *Agave sisalana* (Englelm) Perrine, en varias partes del mundo (Vaurie 1971).

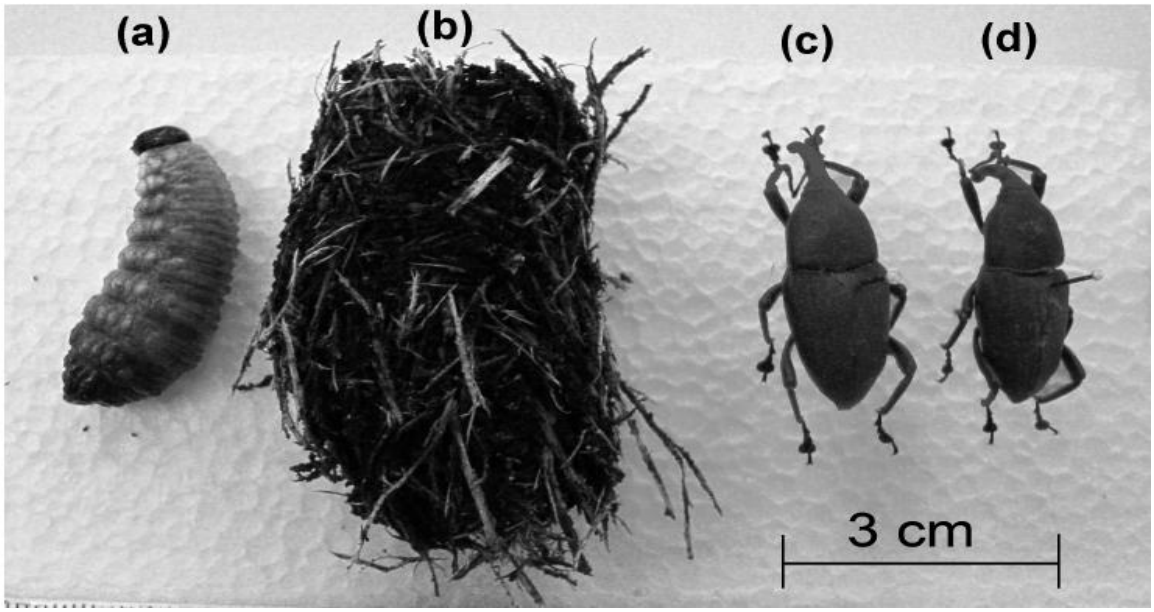


Figura 7 Ejemplares de *S. acupunctatus.* (a) Larva, (b) pupa, (c) hembra, (d) macho.

El daño es causado principalmente por las larvas, las cuales barrenan el tallo y las pencas, provocando pudriciones y marchitez de la planta. Los adultos hacen perforaciones en la base de las pencas para alimentarse y ovipositar. Además, el picudo del agave está asociado a la bacteria Pseudomonas fluorescens biotipo I (Fucikovsky y Velázquez 2002), al alga Prototheca sp., a los hongos Aspergillus niger Van Tiegh, Kluyveromyces marxianus (Hansen) Van Der Walt y Pichia amethionina var amethionina Stamer, así como también a varias especies de levaduras del género Candida (Waring y Smith 1986).

- **Gallina ciega.** *Phyllophaga* es un género que agrupa especies de escarabajos de la subfamilia Melolonthinae. Nombres comunes para las especies que conforman este género en su forma adulta incluyen abejón de mayo, ronrón, chicote, mayate. En su forma de larva son comúnmente conocidos como gallina ciega, orontoco, chorontoco, joboto, chabote. Las larvas de varias especies del género *Phyllophaga* comen las raíces de plantas, y son responsables para daños importantes en la agricultura de América Latina

Clasificación científica:

- Reino: Animalia
- Filo: Arthtopoda
- Clase: Insecta
- Orden: Coleóptera
- Familia: Scarabaeidae
- Subfamilia: Melolonthinae
- Género: *Phyllophaga*

El ciclo de vida dura aproximadamente un año. A mediados del verano y durante un periodo de aproximadamente dos semanas, las hembras ponen 60 a 75 huevos en bolas de barro bajo tierra. La forma del huevo en un primer momento es elíptica (1,5 mm por 2,1 mm), pero se hace más esférica como la larva se desarrolla en el interior. El periodo de incubación de los huevos es 18 días. Las larvas recién nacidas tienen ocho milímetros de largo y crecen hasta una longitud de aproximadamente 40 mm. Tienen el cuerpo blanco, con una cabeza de color marrón-negro, y espiráculos de color marrón en ambos lados de su cuerpo.

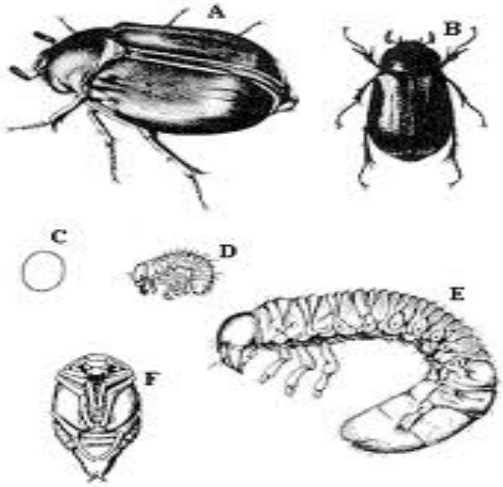


Figura 8 Etapas de *Phyllophaga spp.* A y B, Adultos; C, Huevo; D y E, larvas; F, Pupa.

- **Chinche del agave.** *Caulotops agavis* el adulto mide alrededor de 4.5 mm de longitud. Cuerpo de color amarillo pálido, con los hemiélitros o alas de color café claro. Las ninfas y adultos se alimentan de la savia de las pencas de la planta. Se ha observado que sus poblaciones aumentan en los meses frescos del año. No se considera una plaga importante y se sugieren estudios más específicos para evaluar su daño (González et al., 2007).

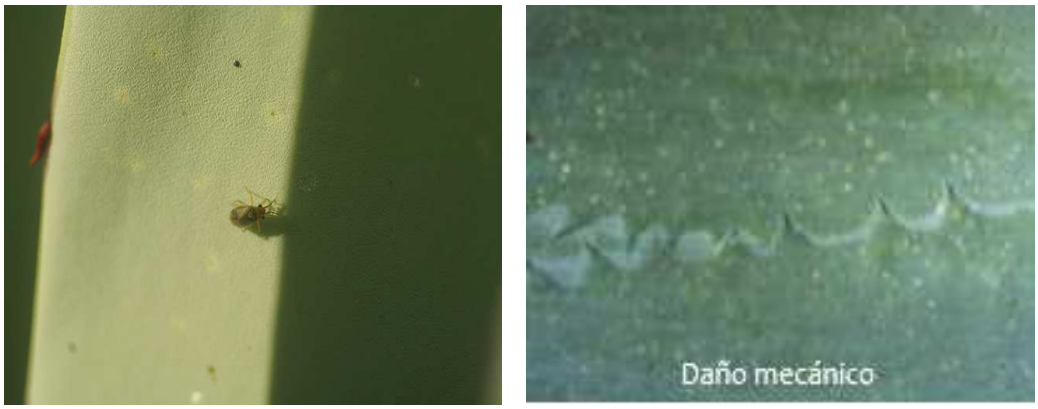


Figura 9 izq. Chinche del agave; der. Daño producido por la chinche sobre las hojas del agave

- **Piojo harinoso**. Es conocido como "algodoncillo". Las hembras adultas presentan cuerpo oval de 3.2 mm de longitud. Antenas y patas bien desarrolladas. En campo los piojos forman colonias algodonosas de color blanco. Es considerada como una plaga importante en plantaciones jóvenes, ya que puede afectar el crecimiento y descogolle (apertura de nuevas hojas de la planta). El piojo harinoso se puede presentar atacando la zona radicular, base de las hojas, hasta las hojas del cogollo (González et al., 2007). Durante los meses de sequía se ha detectado en el

mesontle, que es la unión de las pencas y la piña, succionando los jugos y decolorando la piña, causando el síntoma de “falsa madurez”.

Clasificación científica:

- Reino: Animalia
- Filo: Arthropoda
- Clase: Insecta
- Orden: Hemiptera
- Suborden: Sternorrhyncha
- Familia: Pseudococcide
- Género: *Pseudococcus*
- Especie: *P. agavis*

Figura 10 Piojo harinoso en hojas, hijuelos y en la piña del agave

- **Escarabajo rinoceronte.** Se conoce como “rondón”. El cuerpo es pardo oscuro a casi negro brillante. La longitud del cuerpo es de 3.1 a 6.1 cm. No se ha evaluado su impacto en las plantaciones de agave tequilero, sin embargo se han detectado infestaciones moderadas, principalmente en las orillas de las plantaciones; causando una gran pérdida de plantas. Los adultos se alimentan de las raíces y tallos del agave. Las larvas se desarrollan en troncos podridos. Los adultos son de hábitos nocturnos y son atraídos por la luz, principalmente en los meses de mayo y junio. Las larvas completan su desarrollo en dos años. Se ha observado que en las plantaciones jóvenes o recién establecidas, los adultos primero hacen un agujero en

el suelo muy cerca de la base de la planta, para después empezar a barrenar la piña del agave, donde la planta puede afectar su crecimiento o morir. Se ha observado que el daño va de las orillas de las líneas hacia el centro de las mismas (González et al., 2007).

Clasificación científica:

- Reino: Animalia
- Filo: Arthtopoda
- Clase: Insecta
- Orden: Coleoptera
- Familia: Scarabaeidae
- Genero: *Strategus*
- Especie: *S. aloeus*

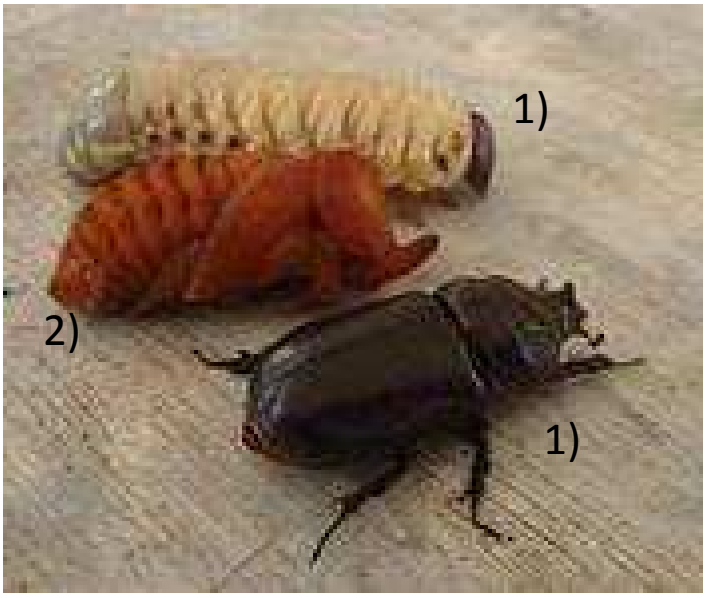


Figura 11 Etapas de vida de *S. aloeus.* 1) Larva, 2) pupa, 3) adulto.

- **Escama armada (*Acutaspis agavis*).** El cuerpo del insecto está cubierto por una capa cerosa de forma circular y color café. El cuerpo es membranoso y débil, de color paja. Generalmente no presentan antenas ni patas (ápodas). Las escamas dañan ambos lados de la penca, en donde al succionar la savia de las plantas, excretan sobre las pencas gran cantidad de líquidos azucarados, sobre los cuales crece el hongo fumagina (Capnodium spp), que también puede contribuir a reducir la capacidad fotosintética de la planta. La escama armada es una plaga que en los meses más secos del año incrementa grandemente sus poblaciones, pudiendo causar daños al agave tequilero; sin embargo se ha observado que existe una

abundante fauna benéfica como coccinelidos depredadores (catarinas) y otros parasitioides (avispas), los cuales pueden ser capaces de reducir las poblaciones a niveles que no causen daño de importancia económica (González et al., 2007).

Figura 12 Escama armada en hojas de agave

Como todo organismo vivo, las enfermedades presentan un ciclo biológico, que comprende seis etapas: inoculación, penetración, infección, invasión, crecimiento, reproducción y diseminación. El daño es más evidente en etapas avanzadas del cultivo, de ahí la importancia de la prevención (Luna, 2003).

Las principales enfermedades que se presentan en el agave son: Acigarramiento o carrujamiento, Pudricion del cogollo y marchitez bacteriana, Viruela o negrilla, Clavo, Anillo rojo.

- **Acigarramiento o carrujamiento.** Inicia con una decoloración en las hojas, después las hojas más viejas se marchitan enrollándose hacia adentro, como se observa en la figura 13. Si la infección es severa avanza hacia la piña causando la muerte de la raíz y desprendimiento de la planta. Además, causa pérdida de turgencia de la hoja y actividad fotosintética en el área foliar. Esta enfermedad prospera en condiciones de temperatura fresca (20 a 25 °C), suelos ácidos a neutros y altos niveles de nitrógeno. Sin embargo, la mayoría de los casos es originado por factores abióticos (calor, frío, helada, muerte de la raíz, etc.) donde también pueden prosperar hongos y bacterias. Una planta acigarrada en extremo presenta una falsa madurez. (CESAVEG, 2008)

Figura 13 Acigarramiento de las hojas.

- **Pudrición del cogollo y marchitez bacteriana.** El daño es causado por bacterias, como *Erwinia spp*. Los síntomas inician en la espina apical o en espinas laterales, éstos avanzan hacia el centro de la penca causando una pudrición descendente hasta la piña con la pérdida del cogollo, contaminando y retrasando a la planta, siendo favorecidas por la humedad de las hojas internas del cogollo y a la falta de oxigenación. Puede ser transmitida por insectos que causan heridas (p.ej. picudo). En la marchitez bacteriana la pudrición afecta las pencas.

Figura 14 Izquierda, daño en la penca. Derecha, daño en las hojas

- **Viruela o negrilla.** El daño es causado por un hongo (*Asterina mexicana*). Al inicio se pueden ver pequeñas áreas oscuras parecidas a manchas de un marcador. Generalmente afecta las pencas bajas; cuando el daño es severo llega a necrosar la penca. Cuando el hongo se presenta en hijuelo recién plantado el daño es severo.

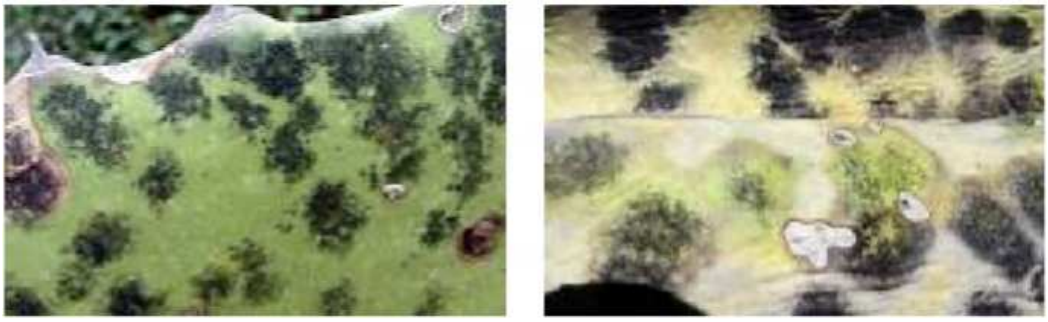


Figura 15 infección e invasión de las hojas por viruela.

- **Clavo.** En la lesión se ha encontrado el hongo *Fusarium oxysporum*. Al separar hijuelos de la planta madre y tostonearlos (corte de raíz) se nota una costra de color rojizo.

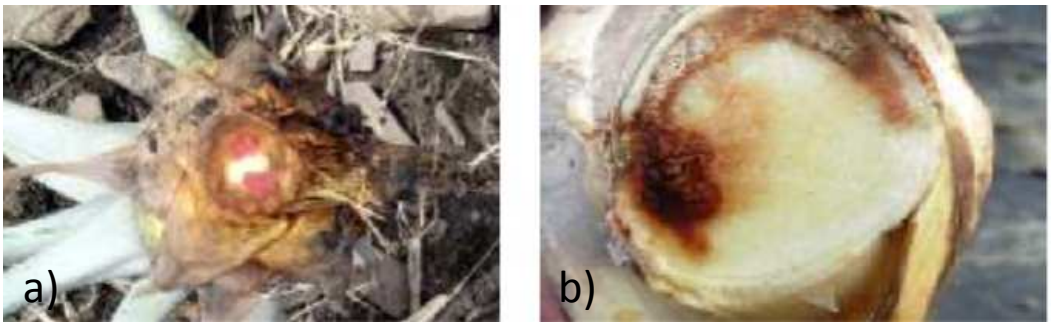


Figura 16 a) Hijuelo contaminado, b) clavo (pudrición seca)

- **Anillo rojo.** En la lesión se han encontrado los hongos *Fusarium sp.* y *Phytophthora sp.* Las hojas presentan una banda de color rojizo bien marcada que puede penetrar y afectar el cogollo. La costra causa obstrucción de los tejidos y pérdida de la actividad fotosintética del área foliar, dando como resultado plantas pequeñas, con un pobre crecimiento y desarrollo. En la lesión también pueden encontrarse bacterias.

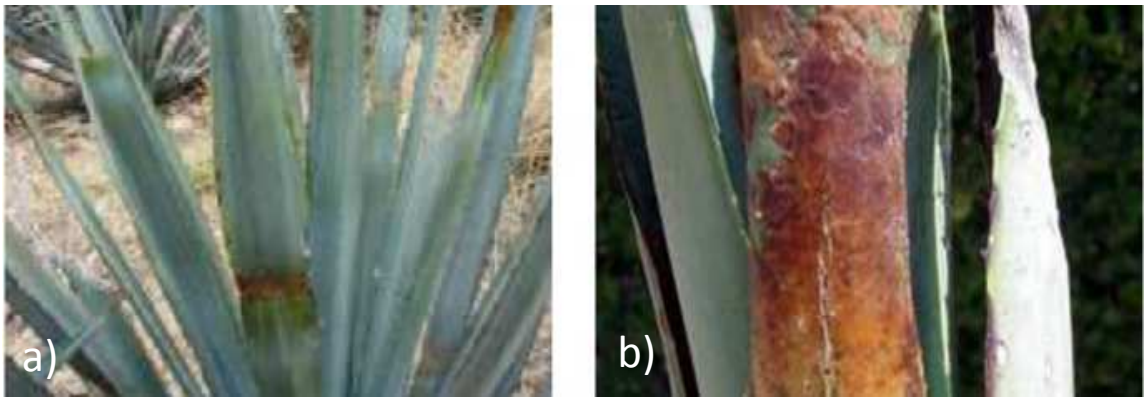


Figura 17 a) infección, b) invasión.

Control de malezas.

Las malezas crean condiciones para el "acigarramiento" o "carrujamiento" de la planta que limita su desarrollo y crecimiento. Con altas poblaciones de maleza y en condiciones secas puede provocar la quema del cultivo. En plantaciones nuevas o recién establecidas es importante mantener libre de maleza durante los primeros 40 días iniciado el temporal de lluvias. De acuerdo al Período Crítico de Competencia las malezas, deben ser controladas como máximo los primeros 30 días de iniciado el temporal, controlar más tarde o no controlar, afecta el crecimiento y desarrollo de nuevas pencas.

Si se realiza control químico de la maleza es recomendable realizarlo en las etapas tempranas de la maleza (5 a 10 cm de altura), de esa forma se tiene mayor control. Evita que el herbicida entre en contacto con el cultivo. El control de la maleza debes realizarlo

únicamente sobre las hileras del cultivo con el objeto de fomentar la cobertura vegetal de malezas en las calles del cultivo para evitar problemas de erosión del suelo. En plantaciones de más de un año el control de la maleza puede realizarse en pre o post emergencia. En ambos casos (CESAVEG, 2008)

Azucares presentes en la planta.

La cantidad y el tipo de azucares presentes en las plantas de agave son muy importantes debido a que estos son utilizados por las levaduras para la obtención del etanol y de los compuestos que proveen las características sensoriales del producto.

El Aguamiel del *Agave americana L.* es un fluido rico en carbohidratos como la fructosa, sacarosa y glucosa, además contiene pequeñas cantidades de vitaminas y minerales.

El aguamiel del agave es más rico en fructosa que en sacarosa y según estudios recientes también esta presente la inulina (Wesche, 2000).

La glucosa es un monosacárido con fórmula molecular $C_6H_{12}O_6$. Es una hexosa, es decir, que contiene 6 átomos de carbono, y es una aldosa, esto es, el grupo carbonilo está en el extremo de la molécula. Es una forma de azúcar que se encuentra libre en las frutas y en la miel. Su rendimiento energético es de 3,75 kilocalorías por cada gramo en condiciones estándar

La glucosa, libre o combinada, es el compuesto orgánico más abundante de la naturaleza. Es la fuente primaria de síntesis de energía de las células, mediante su oxidación catabólica, y es el componente principal de polímeros de importancia estructural como la celulosa y de polímeros de almacenamiento energético como el almidón y el glucógeno.

En su forma D-glucosa, sufre una ciclación hacia su forma hemiacetálica para dar sus formas furano y pirano (D-glucofuranosa y D-glucopiranosa) que a su vez presentan anómeros alfa y beta. Estos anómeros no presentan diferencias de composición estructural, pero si diferentes características físicas y químicas. (Ver figura 18)

La glucosa es uno de los tres monosacáridos dietéticos, junto con fructosa y galactosa, que son absorbidos directamente en el torrente sanguíneo durante la digestión. Las células lo utilizan como fuente primaria de energía y es un intermediario metabólico. La glucosa es uno de los principales productos de la fotosíntesis y combustible para la respiración celular.

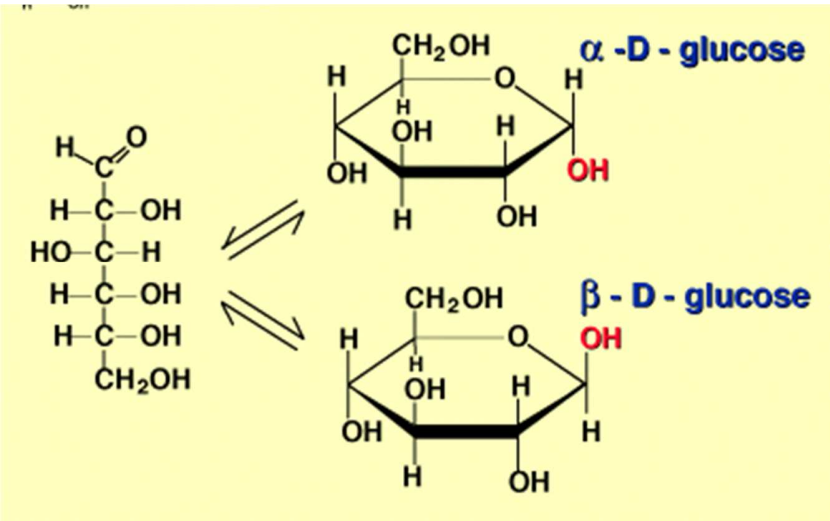


Figura 18 Estructuras de la glucosa.

La fructosa, o levulosa, es una forma de azúcar encontrada en las frutas y en la miel. Es un monosacárido con la misma fórmula empírica que la glucosa pero con diferente estructura. Es una hexosa (6 átomos de carbono), pero cicla en furano (al contrario que las otras hexosas, que lo hacen en pirano) (ver figura 19). Su poder energético es de 4 kilocalorías por cada gramo. Su fórmula química es $C_6H_{12}O_6$.

Todas las frutas naturales tienen cierta cantidad de fructosa (a menudo con glucosa), que puede ser extraída y concentrada para hacer un azúcar alternativo. Junto con la glucosa forman un disacárido llamado sacarosa o azúcar común.

La fructosa puede obtenerse de varias formas entre las que destacan la hidrólisis de la sacarosa como parte del azúcar invertido; la hidrólisis del almidón para obtener glucosa y su posterior isomerización a fructosa y la oxidación del D-manitol ó del D-glucitol (sorbitol). Actualmente otro método para producir fructosa y que está recibiendo mucha atención, involucra la obtención de este azúcar a partir de las fructanas (polímero de fructosa) presentes en algunas plantas (Vandamme y Derycke, 1983).

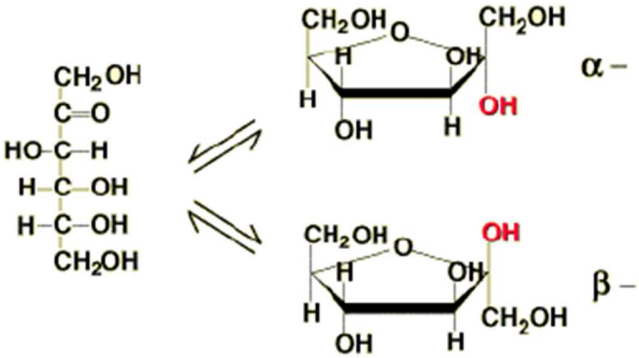


Figura 19 Estructuras de la Fructosa

Wesche (2000) reporta que algunas especies de plantas, entre ellos el agave, tienen como reserva de carbohidratos polímeros de fructosa (fructosanos), en lugar de glucosa, tales como la inulina (Figura 1), que son más pequeñas que las moléculas de almidón y mas solubles en agua. La inulina es un polímero lineal y está compuesta de cadenas de 25 a 35 residuos de fructosa unidas por enlaces glucosídicos β (2→1) y termina en una molécula de sacarosa. Algunos fructosanos son ramificados. Las inulinas se encuentran más frecuentemente almacenadas en raíces y tubérculos en lugar de secciones aéreas de la planta.

Las fructanas son polímeros de fructosa que constituyen los principales carbohidratos de reserva en algunas plantas y también son producidas por microrganismos. Otros de los nombres con que se les conoce a estos polímeros son fructanos o fructosanos, puesto que su unidad básica es la fructosa (Badui, 1997).

Las inulinas son polímeros lineales de moléculas de fructosa unidas por enlaces glucosídicos β (2-1) y contienen una molécula de glucosa en el extremo reductor de la cadena unida por enlace glucosídico α(1-2). Se encuentran en algunas plantas monocotiledóneas de la familia Liliaceae, Agaveceae, Amarylidaceae e Iridiceae, así como también en algunas dicotiledóneas de las familias Compositae, Boraginaceae, Malpighiaceae, Primulaceae, Styracaceae y Violaceae (Carpita et al., 1996). El grado de polimerización de las inulinas llega a ser hasta de 200 unidades de fructosa, aunque generalmente su tamaño oscila entre 30 y 60 unidades de fructosa (Rosa et al., 1986).

Dentro de las fructanas ramificadas o mixtas, se encuentran aquellos polímeros representados por cadenas lineales conformadas por residuos de fructosa unidos mediante enlaces glucosídicos β(2-1) y cadenas laterales de residuos de fructosa unidos mediante enlaces glucosídicos β(2-6). En el agave americana se encuentran fructanas de

este tipo, son las conocidas como fructooligosacaridos, un oligosacárido lineal formado por entre 10 y 20 monómeros de fructosa, unidos por enlaces β (1→2) y que pueden contener una molécula inicial de glucosa. Un ejemplo típico de fructooligosacàrido es la 1-kestosa. Los fructoolgosacáridos, llamados también a veces oligofructosas u oligofructanos o abreviados *FOS*, suelen utilizarse como substitutos del azúcar. Estos polisacáridos exhiben una capacidad edulcorante que para un mismo peso varía entre el 30 y el 50 por ciento de la potencia edulcorante del azúcar común en los preparados de jarabes comerciales.

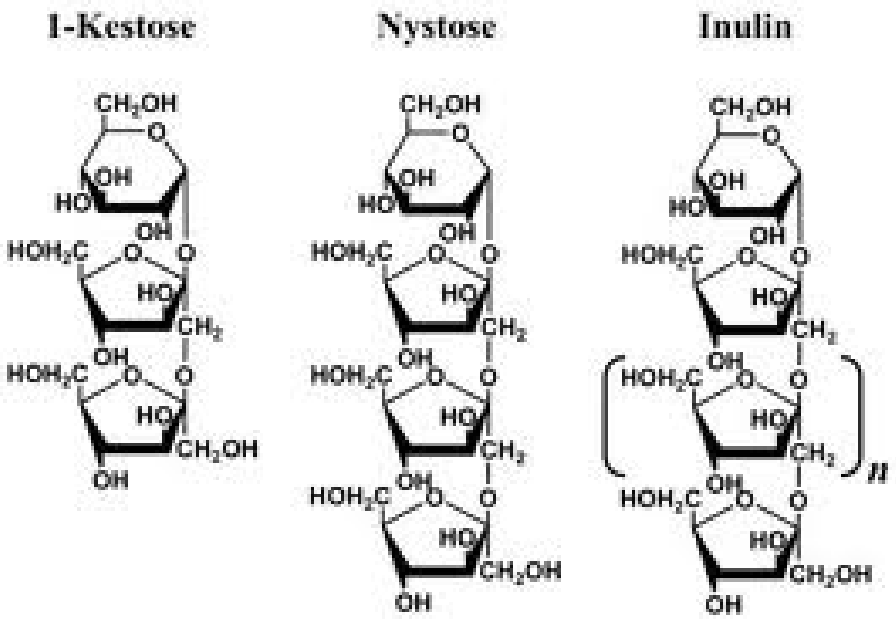


Figura 20 Estructura química de FOS y la inulina

La síntesis de inulina "comienza con la adición de fructosa a una molécula de sacarosa, formando un trisacárido. La síntesis completa del polímero requiere de varias enzimas:

- Sacarosa-sacarosa 1 frutosiltransferasa (SST) que cataliza la formación del trisacárido a partir de dos moléculas de Sacarosa:
  Glc-Fru + Glc-Fru → Glu-Fru-Fru + Glu.

- La glucosa es subsecuentemente convertida después de varios pasos en sacarosa.
- B(2→1) fructan 1-fructosiltransferasa (FFT) que cataliza la transferencia de un residuo de fructosa de un donador a un aceptor, ambos siendo trisacáridos o mayores.
  Glu-Fru-Fru(n) + Glu-Fru-Fru(m) →Glu-Fru-Fru(n-1) + Glu-Fru-Fru(m+1). Esta reacción es reversible y también funciona durante la despolimerización.

La degradación o despolimerización de la inulina puede seguir una de dos rutas. Durante el almacenamiento frío, la inulina es degradada a oligómeros de cadena más corta. Esta degradación involucra la acción de hidrolasas, la FFT y enzimas involucradas en la síntesis de sacarosa. Durante el proceso de germinación, la inulina es degradada completamente a fructosa por hidrolasas y luego convertida en sacarosa para su exportación a los ápices en crecimiento. Se han aislado varias levaduras que poseen enzimas requeridas para la hidrólisis de la inulina y subsecuentemente convierten a los residuos en alcohol, de esta manera aumentan el atractivo de utilizar inulina como sustrato de carbono para la producción de alcohol" (Wesche, 2000).

La inulina presente en el agave, se degrada durante el cocimiento dando principalmente varias moléculas de fructosa, alrededor del 20% de sacarosa y el trisacárido 1,β-fructosil inulobiosa (Feingold, 1956 y Takashi, 1955, citados por Arrazola, 1969). La fructosa y la glucosa presentes en el agave son dos azúcares reductores que pueden ser utilizados para obtener alcohol con un proceso de fermentación, además de que pueden interactuar con las proteínas dando como resultado la caramelización o reacción de Maillard (Téllez, 1998).

El contenido promedio de azúcares reductores totales (ART) que están presentes en el agave, varía entre 20 y 30% en peso. Cuando un agave tiene un contenido de azúcares reductores del 20%, es considerado de baja calidad y si presenta entre el 25 y 30% es de buena calidad (Granados, 1993 y Téllez, 1998).

El análisis de la cantidad de azúcar contenido en las cada planta es importante ya que el alcohol obtenido en la fermentación depende de la cantidad de azucares reductores presentes.

El método mas utilizado para conocer la cantidad de azucares en una muestra es la medición de los grados Brix (°Bx).

Los grados Brix representan una escala arbitraria para medir densidades de soluciones de azúcares y equivalen al porcentaje en peso de sólidos solubles de una muestra, que principalmente son azúcares. Su determinación se realiza con un refractómetro o con un hidrómetro (Coinsidine, 1982, Potter, 1995 y Baduí, 1988). Con el refractómetro se determina el índice de refracción de un haz de luz que atraviesa el medio en el cual se encuentran los azúcares.

Árbol de mata-ratón

El mata-ratón (*Gliricidia sepium* (Jacq.) Kunth ex Walp.), también conocido como Madero Negro (Costa Rica), Madrecacao (Guatemala), Cocoite (México), es un árbol de tamaño

mediano, leguminoso, nativo de México y América Central. La razón principal por la cual muchos agricultores lo utilizan en agroforestería y otros usos, es por su fácil propagación ya sea por semillas o estacas, su manejo a través de rebrotes o poda de copas y por su capacidad de fijar nitrógeno.

Gliricidia sepium tiene una distribución natural que va desde 7° 30' latitud norte en Panamá, hasta 25° 30' latitud norte en México (Hughes, 1987; Salazar, 1988). Es nativa de las zonas bajas de México y América Central. Ha sido introducida en muchas zonas tropicales y naturalizadas en el norte de América del Sur, hasta Brasil, El Caribe, Hawaii, en el oeste de África, India, Sri Lanka, sureste de Asia incluyendo Tailandia, Indonesia, Filipinas y Australia. En México y América Central es una especie que se encuentra en áreas bajo los 1500 metros de elevación (Hughes, 1987), pero principalmente bajo los 500 msnm (NAS, 1984; Glover 1986). Se presenta en rodales naturales en Costa Rica, Nicaragua, Honduras, El Salvador, Guatemala y Panamá (CATIE, 1986).

Su clasificación científica es la siguiente:

- Reino: Plantae
- Subreino: Embryophyta
- Superdivisión: Tracheobionta
- División: Magnoliophyta
- Clase: Eudicotas (Magnoliopsida)
- Subclase: Rosidae
- Orden: Fabales
- Familia: Fabaceae
- Subfamilia: Faboideae
- Tribu: Robinieae
- Género: *Gliricidia*
- Especie: *G. sepium*

Los nombres comunes de *Gliricidia sepium* en México son: Cacahuanano (Rep. Mex.) ; Cocuite (Oaxaca.); Cacahuiananche (Michoacán, Guerrero, Sinaloa, Nayarit); Cocoite, Chanté, Mata ratón, Yaité (Chiapas); Cocomuite; Cocuitle, Muiti (Veracruz.); Cuchunuc (lengua zoque, Chiapas.); Frijolillo (Mexico); Guie-niiza, Yaga-le (lengua zapoteca, Oaxaca); Mata rata (Guerrero); Sayab, Sayauiab, Sakyab (Yucatán.); Tunduti (lengua mixteca, Oaxaca); Ujcum (lengua tzeltal, Chiapas.); Xab-yaab (lengua maya, Yucatán.); Jelelte (lengua huasteca, San Luis Potosí); Flor de san José, Palo de corral (San Luis Potosí).

Descripción del árbol

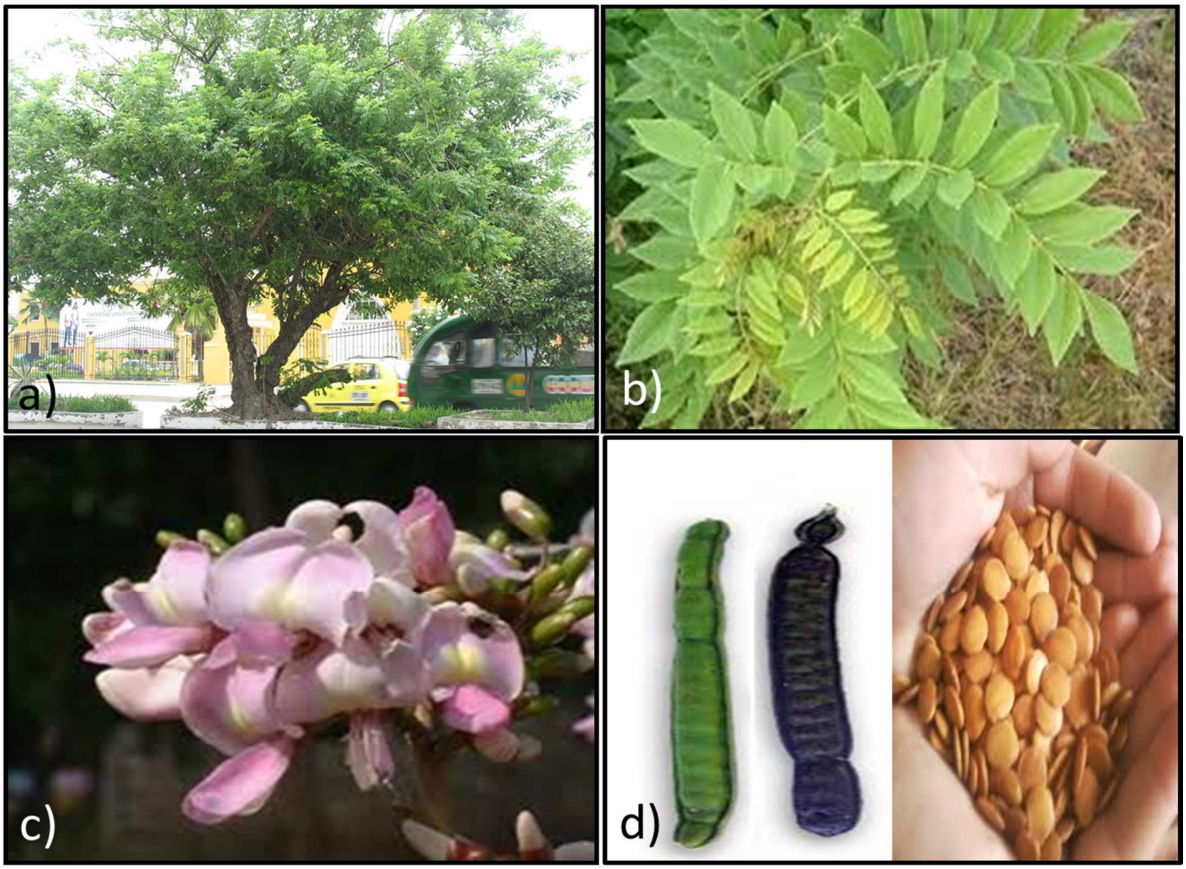


Figura 21 Descripción de *G. sepium*. a) Tronco, ramas y copa de *G. sepium*; b) hojas; c)) fruto y semillas.

Como se puede observar en la figura 21a su forma es de un árbol, arbusto caducifolio, de 2 a 15 m (hasta 20 m) de altura, con un diámetro a la altura del pecho entre 25 y 60 cm, normalmente más pequeño. Posee una copa irregular, amplia cobertura del follaje.

Hojas compuestas, alternas, e imparipinnadas. Miden de 12 a 30 cm de largo (incluyendo el pecíolo). Compuestas por 7 a 25 folíolos opuestos de 3 a 8 cm de largo por 2 a 4 cm de ancho, ovados a elípticos, con el margen entero (figura 21b).

El tronco es un poco torcido. Ramas ascendentes y luego horizontales. La forma del árbol es variable, desde erecta y recta en algunas procedencias, hasta retorcida y muy ramificada, con tallos múltiples originados cerca de la base como se observa en la figura 21a. La corteza externa es escamosa a ligeramente fisurada, pardo amarillenta a pardo grisácea y la interna es de color crema amarillenta, fibrosa, con olor y sabor a rábano. Grosor total es de 8 a 10 mm.

Las flores son rosadas y se agrupan en racimos densos de 10 a 20 cm de largo, situados en las axilas de las hojas caídas. Cada racimo tiene de 15 a 50 flores zigomorfas, de 2 a 3 cm de largo, dulcemente perfumadas. Corola en forma de mariposa. Esto lo podemos apreciar en la figura 21c.

Los frutos son vainas lineares y dehiscentes a lo largo de 2 suturas, aplanadas, de 10 a 20 cm de largo y 1 a 3 cm de ancho, agudas, péndulas, con nervadura fina, verde limón o pardo claras cuando nuevas y oscuras al madurar. Cada vaina con 3 a 10 semillas. Las semillas son pardo-amarillentas, de 7.9 a 18 mm de largo por 12 a 15 mm de ancho, casi redondas, aplanadas, de superficie lisa. El hilo es blancuzco, ligeramente protuberante y contiguo al micrópilo. La testa es dura y ósea (ver figura 21d)

La raíz en plantas provenientes de semillas el sistema radical es fuerte y profundo, con una raíz pivotante y raíces laterales en ángulos agudos respecto de la raíz principal. En las plantas provenientes de estacas, las raíces son superficiales.

Son plantas Hermafroditas con numero cromosómico: 2n = 22, 28.

Gliricidia sepium, contiene niveles altos de proteína (23%), (45% de fibra neutra detergente) y calcio (1.7%), y niveles bajos de fósforo (0.2%). Los niveles de aminoácidos sulfurados y de triptófano son bajos mientras que el de usina es comparativamente satisfactorio. El contenido total en nitrógeno es del 3.99%, con un 12% de esta cantidad formado por nitrógeno no proteico.

Con la intervención del hombre, se encuentra distribuida en la vertiente del Golfo desde Tamaulipas, San Luís Potosí, norte de Puebla, y Veracruz, hasta la Península de Yucatán, y desde Sinaloa, hasta Chiapas, en la vertiente del Pacífico. Altitud: 0 a 700 (1,600) m.

Los estados donde se puede encontrar este árbol dentro de la republica mexicana son los siguientes: CAMPECHE, COLIMA, CHIAPAS, GUERRERO, JALISCO, MEXICO, MICHOACÁN, MORERLIA, NAYARIT, PUEBLA, QINTANA ROO, SAN LUIS POTSÍ, SINALA, TAMAULIPAS. VERACRUZ, YUCATAN.

Su capacidad de adaptación la ha llevado a ocupar dunas costeras ligeramente salinas, bancos ribereños, planicies inundables, faldas de montañas, barrancos, áreas perturbadas, terrenos abiertos y terrenos inestables de las orillas de los ríos. En su ámbito de distribución natural prevalece un clima subhúmedo relativamente uniforme, con temperaturas de 20 a 30 °C, precipitaciones anuales de 500 a 2.300 mm y 5 meses de período seco. Crece igualmente en suelos derivados de material calcáreo, ígneo o volcánico. Tolera una gran variedad de suelos, menos aquellos que tengan deficiencias serias de drenaje interno. Se adapta tanto a suelos húmedos como a secos. Se desarrolla en una gran variedad de suelos que van desde arenas puras, regosoles pedregosos no

estratificados, hasta vertisoles negros profundos en su rango natural y ha sido cultivado en suelos desde arcillosos hasta franco-arenosos. Tolera un pH entre 5.5 y 7, también crece en suelos ácidos (pH 4 a 5), pero su tolerancia en suelos extremadamente ácidos, con alto contenido de aluminio, no se ha evaluado lo suficiente.

Aspectos fenológicos

Los componentes fenológicos son específicos para las diferentes condiciones climáticas de la región descrita.

Asociación con Nódulos. Nódulos fijadores de nitrógeno en las raíces. Simbionte: Rhizobium y/o Bradyrhizobium. El establecimiento y la formación de nódulos en estacas recién plantadas se inician entre el segundo y tercer año de plantadas.

Adaptación. Especie de fácil adaptación.

Competencia. Las plántulas son muy sensibles a la competencia. Se debe practicar un control de malezas hasta que los individuos estén bien establecidos. El árbol suprime el crecimiento de las malezas bajo su sombra. Esto se debe a la sombra moderadamente densa y también posiblemente a algún efecto tóxico de la hojarasca.

Crecimiento. Especie de muy rápido crecimiento (aún en zona semiárida) y rápido desarrollo de la superficie foliar, alcanzando la proyección de copa en un año (una superficie de 6 m2). El crecimiento en altura muestra un incremento medio anual de 0.7 a 3.3 m.

Descomposición. Descomposición foliar rápida. Su hoja se descompone muy rápido en el suelo y no se ve una acumulación de hojarasca bajo el árbol.

Establecimiento. Facilidad de establecimiento y manejo.

Interferencia. Carácter alelopático. Se ha determinado la presencia de varios flavonoides que podrían ser los causantes de la toxicidad de la especie y de un posible efecto alelopático.

Producción de hojas, frutos, madera y/o semilla. Buena productora de abono verde (mantillo). Capacidad para formar follaje fácilmente (abundante masa foliar). Puede ser cosechada a intervalos de 3 meses para maximizar su producción de follaje. Se reportan producciones de 11.9 ton/ha/año de follaje seco o un promedio de 6.6 ton en 5 años. La producción de forraje varía de 2 a 20 ton/ha. Un árbol puede producir entre 300 y 400 g de semilla limpia por año. En un huerto semillero se reporta rendimientos de 37 kg/ha de semilla con los que podrían establecerse más de 40 hectáreas anuales, si se estiman 10,000 semillas/kg y 5,000 árboles/ha.

Regeneración. *Gliricidia* tiene una notable capacidad de regenerarse vigorosamente, después de la acción perturbadora de un agente externo (heladas, ramoneo, corte o poda), dominando muchas áreas de crecimiento secundario. En su ámbito natural es común encontrar rodales o grupos de árboles de esta especie regenerados naturalmente, debidos principalmente a su alta producción de semillas, a su capacidad para soportar períodos prolongados de sequía, a su capacidad para germinar en suelos desnudos y pobres y por su tolerancia a incendios.

La propagación de *G. sepium* se realiza de dos formas:

- **Reproducción asexual.**
    1. Cultivo de tejidos.
    2. Brotes o retoños. Una de las características más apreciadas es su gran capacidad de rebrote, tanto a nivel de tallo, como de tocón o raíces superficiales. La especie pierde su capacidad de rebrote después de 8 a 12 años.
    3. Cortes de raíz, estacas, pseudoestacas.
- **Reproducción sexual.**
    1. Regeneración natural.
    2. Semilla (plántulas).
    3. Siembra directa. La siembra directa en el campo es el método más fácil y barato para establecer *Gliricidia*. Si se opta por este método no hay necesidad de esperar la producción de arbolitos en viveros sofisticados.

Los principales usos de este árbol son:

- Artesanal [madera]. Artesanías, esculturas, artículos torneados.
- Combustible [madera]. Leña, carbón. Produce leña de excelente calidad. Hace buen fuego, arde con poco humo y tiene un valor calorífico de 4,900 kcal/kg.
- Comestible (verdura) [flor, hoja]. Las flores se comen hervidas, fritas o en conserva. Sin embargo es peligroso comer las flores ya que contienen sustancias tóxicas.
- Construcción [madera]. Construcción rural y pesada.
- Forrajeo [hoja, vástago, fruto, semilla]. Muy buen forraje para ganado (chivos, burros, vacas). Las hojas contienen un alto porcentaje de proteína cruda (18 a 30 %). Su valor de digestibilidad de la hoja seca es alto, va de 48 a 78 %. Hojas venenosas para perros, caballos y ratas. Las vacas y cabras comen sus hojas sin sufrir daño aparente.
- Implementos de trabajo [madera]. Implementos agrícolas, mangos para herramientas.

- Industrializable. Ceras.
- Insecticida / Tóxica [semilla, corteza, raíz, hoja]. Las semillas, hojas, corteza y raíz contienen sustancias tóxicas que se usan localmente para envenenar roedores en los campos de cultivo. La raíz es tóxica y envenena a los pequeños roedores que atacan el cacao. Actividad insecticida contra: barrenador mayor de los granos (*Prostephanus truncatus*, Coleoptera: Bostrichidae); gorgojo pinto del frijol (*Zabrotes subfasciatus*, Coleoptera: Bruchidae); conchuela del frijol (*Epilachna varivestis*, Coleoptera: Coccinelidae).
- Maderable [madera]. Durmientes, muebles pequeños, pisos, lambrín, duela, acabados de interiores, hormas para zapatos, ebanistería, mangos para cuchillos finos, partes de embarcaciones, crucetas, pilotes para mina, crucetas y traviesas, postes.
- Medicinal [hoja, tallo, corteza]. Las hojas y corteza se utilizan en forma de emplastos y baño general como remedio para granos y erisipelas (sarampión). Hojas y corteza: antipirético (calentura). También se le ha reportado como antiséptica, fluidificante. Planta: dolor de cabeza, fiebre.
- Melífera [flor]. Apicultura. Las flores aunque no fragantes son muy visitadas por las abejas.
- Tutor [tronco]. Estacas vivas para soporte de especies trepadoras como la vainilla.

Para proteger los ecosistemas y la inocuidad de los productos agrícolas, la ONU (Organización de las Naciones Unidas) por medio de la OMS (Organización Mundial de la Salud) y FAO (Organismo para la agricultura y la alimentación) han propuesto nuevas herramientas como fitoprotección y mas recientemente el surgimiento del MIP (Manejo Integrado de Plagas) para controlar las plagas sin necesidad de utilizar insecticidas (Aragón, 2005).

Montes & Dendooven, (2010) reportan que el extracto de mata-ratón es efectivo para el control de la plaga del tomate conocida como mosquita blanca (*Bemisia tabaci*).

Al igual que la mayoría de las leguminosas tropicales, el mata-ratón tiene factores antinutricionales como cumarinas y taninos condensados. Estas sustancias son tóxicas para roedores (de ahí el nombre común de mata-ratón) y también para pollos y equinos, pero no para los rumiantes.

Las cumarinas constituyen un grupo importante de compuestos naturales; se les considera derivados de la lactona del ácido *o*-hidroxicinámico. Son sustancias fluorescentes, comúnmente fotosensibles encontrándose libres en las plantas. En la figura podemos observar la estructura química de la cumarina.

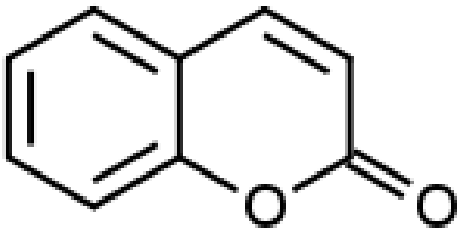


Figura 22 Estructura química de la cumarina

Las cumarinas se consideran todo un grupo de metabolitos secundarios de las plantas, fenólicos, que comparten la misma vía biosintética y esqueleto químico.

En plantas, se encuentran en los tegumentos de las semillas, frutos, flores, raíces, hojas, y tallos, aunque la mayor concentración se encuentra en general en frutos y flores. Originalmente la cumarina se aisló del Haba de Tonka. Su rol en las plantas parece ser de defensa, dándole propiedades de rechazo a la alimentación (en inglés *antifeedant*), antimicrobiana, captadora de radiación UV e inhibidora de la germinación.

Desde el punto de vista químico los taninos se clasifican en:

- Taninos hidrolizables o hidrosolubles (pirogálicos). En estos se distinguen los taninos gálicos. Las drogas de interés por su contenido en taninos hidrolizables se pueden mencionar: los pétalos de la rosa roja (*Rosa gallica*), con taninos gálicos (15%) y muy empleada para gargarismos, colutorios y lociones astringentes; hojas y corteza de hamomelis (*Hamamelis virginiana*) con taninos gálicos, muy usada por vía interna como externa; la sumidad florida de salicaria (*Lythrum salicaria*) con taninos elágicos (10%), muy utilizada como antidiarréica y vulneraria.
- Taninos condensados: no hidrosolubles, tienen una estructura similar a la de los flavonoides y carecen de ciertos elementos en su molécula. Destacan los taninos catéquicos (formados por 2 o más moléculas de 3-flavanoles) y los leucoantocianos o procianidoles (formados por 2 o más moléculas de 3,4-flavandioles). En este grupo se pueden mencionar la raíz de ratania (*Krameria triandra*) astringente-antidiarréica y el combreto (*Combretum micranthum*). También se clasifican en este grupo la corteza de pino resinero (*Pinus pinaster*) y los estróbilos del ciprés (*Cupressus sempervirens*) de acción venotónica.

Los taninos condensados son una clase de flavonoides (sintetizados por las plantas por la "vía biosintética de los flavonoides") que son los pigmentos principales de muchas semillas, y también están presentes en los tejidos vegetativos de algunas plantas de forrajeo.

Son polímeros formados por unidades de antocianidina (un flavonoide). Como pueden ser hidrolizados en sus antocianidinas constituyentes si se los trata con ácidos fuertes, a veces son conocidos como proantocianidinas.

Como todos los taninos, aparentemente en las plantas cumplen funciones de defensa ante el herbivorismo (Lincoln y Zeiger, 2006).

Son de importancia económica para el ganado porque reducen la hinchazón en los animales rumiantes, pero al mismo tiempo tienen potencial de producir rechazo al alimento ("antifeedants") y de disminuir la absorción de los nutrientes por el organismo ("antinutrients") (Morris, 1997).

Beauveria bassiana

Beauveria bassiana es un hongo deuteromiceto que crece de forma natural en los suelos de todo el mundo, incluyendo México. En nuestro país ha sido detectado en forma natural en muchos estados incluyendo Sinaloa, Coahuila, Tamaulipas, Nuevo León, Colima, Jalisco y otros.

Su poder entomopatógeno le hace capaz de parasitar a insectos de diferentes especies, causando la conocida enfermedad blanca de la muscardina. Pertenece a los hongos entomopatógenos y actualmente es utilizado como insecticida biológico o biopesticida controlando un gran número de parásitos de las plantas como son las orugas, las termitas, las moscas blancas, los áfidos, los escarabajos o los tisanópteros.

Clasificación científica:

- Reino: Fungi
- División: Deuteromycotina
- Clase: Deuteromycetes
- Orden: Moniliales
- Familia: Moniliaceae
- Genero: *Beauveria*
- Especie: *B. bassiana*

El modo de acción de este hongo entomopatógeno consta de diferentes etapas. Cuando las esporas microscópicas del hongo entran en contacto con las células de la epicutícula del insecto, estas se adhirieren e hidratan. Las esporas germinan y penetran la cutícula del insecto. Una vez dentro, las hifas crecen destruyendo las estructuras internas del insecto y produciendo su muerte al cabo de unas horas. Tras ello, si las condiciones ambientales son favorables, pueden emerger del cadáver esporas del hongo con capacidad para ser propagadas de nuevo y reinfectar a nuevos insectos.

Algunos productos basados en el poder entomopatógeno de *Beauveria bassiana* se están empleando como Insecticidas Biológicos o Biopesticidas registrados, si bien deben tenerse en cuenta tanto el poder patógeno de cada una de las cepas como la concentración de los productos y los tipos de formulación que protegen las esporas vivas del hongo.

CAPÍTULO VIII. Materiales y Métodos

El estudio se realizó en el laboratorio de Biotecnología y en el Laboratorio de Investigación del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez.

El material biológico empleado en este trabajo se encontró en las instalaciones del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez, en los jardines con el que esta Institución cuenta; se recolectaron las hojas que se encontraban mas verdes para la preparación del extracto que se indica más adelante; el experimento se realizó en los invernaderos de la empresa Balun Canan S. de R.L. de C.V. y su ubicación se detalla más adelante, de la misma manera se utilizó el material de laboratorio que corresponde al Laboratorio de Biotecnología en el cual se utilizó una balanza granataria, probetas de capacidad de un litro, una licuadora marca Mabe para moler las hojas y garrafones de colores obscuros para almacenar el extracto, en el material químico utilizado fue agua destilada proporcionada por el Dr. Joaquín Adolfo Montes Molina.

Las Tratamientos para los cultivos son: Aplicación Blanco (b), Matarratón (*Gliricidia sepium*), Beauveria bassiana, Químico (Karate) (k), Químico (Aagrimy-Qú), Químico (Mezcla Daconil-Scooper MZ) y Químico (Mezcla Tena Qú-Blason Ultra).

En dos distintas formas de aplicación la primera directo al follaje, la segunda a la raíz para la misma planta; en el siguiente texto se detalla la distribución de los tratamientos y la ubicación espacial del experimento.

8.1 Diseño Experimental

El experimento se realizó con plántulas de *Agave americana* L. menores de un año de edad, las cuales se encontraban en bolsas de plástico negras de 20 cm de profundidad y 15 cm de diámetro, conteniendo 5 kg de suelo de cultivo.

Se utilizó un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones, por cada bloque, siendo un totalde tres bloques, teniendo así nueve repeticiones por cada tratamiento, la unidad fundamental estuvo formada por una planta teniendo un total de 24 unidades

experimentales por tratamiento, haciendo un total de 72 unidades experimentales. Los tratamientos se distribuyeron de manera aleatoria quedando la misma distribución para todos los bloques. La distancia entre los diferentes bloques fue de un metro y la separación entre las plántulas fue de 50 cm.

El riego se aplicó cada tres días y los tratamientos fueron aplicados cada siete días.

A continuación en la Figura 23, se muestra la distribución de la aplicación de los tratamientos por bloque y su distribución espacial en el terreno utilizado:

Figura 23 Izquierda, Esquema de aplicación de tratamientos. Derecha, distribución espacial de las plantas

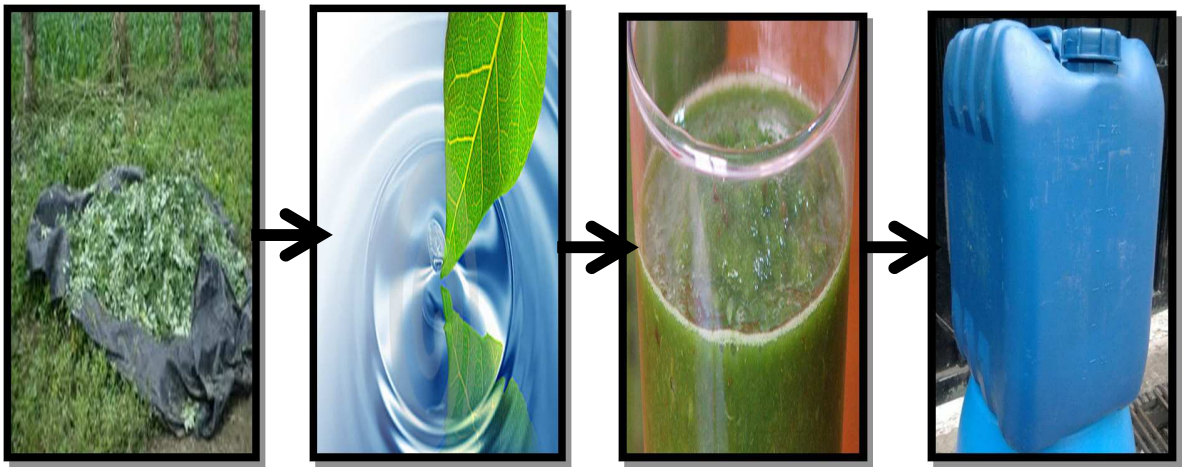
8.2 Preparación de los Tratamientos

8.2.1 Preparación del extracto de mata-ratón

El extracto de Mata-ratón (*Gliricidia sepium)* se prepara de la siguiente manera: Se pesa 500 g de hojas frescas de cada árbol de mata-ratón y se lavan muy bien desinfectándose con Hipoclorito de Sodio durante tres minutos, se elimina el exceso de desinfectante con agua, después se trocean o se licuan; se deja reposando en 5 L de agua durante tres días.

Llegado este tiempo se filtra y el extracto obtenido se lleva a un volumen final de 10 L y queda listo para su aplicación.(Montes et al, 2008)

A continuación se muestra un diagrama sintético e ilustrado de la preparación del extracto.



Hojas de Mata-ratón (*Gliricidia sepium).*

Lavado de hojas de Mata-ratón (*Gliricidia sepium).*

Se licuan las hojas de Mata-ratón (*Gliricidia sepium).*

Se deja reposar el extracto durante 3 días para luego filtrarlo y aplicarlo.

Figura 24 Diagrama ilustrado de la preparación del extracto de Mata-ratón (*Gliricidia sepium*).

8.2.2 Preparación de la *Beauveria bassiana*

En elaboración del Tratamiento de la *Beauveria bassiana*; se miden 5 mL del concentrado con la ayuda de una probeta y se lleva a un volumen de 10 L de agua y esta listo para aplicarse.

8.2.3 Preparación de los Tratamientos Químicos

El Karate se prepara midiendo 5 mL de concentrado con la ayuda de una probeta y se lleva a un volumen de 10 L de agua. Y esta Listo para aplicarse en el follaje y raíz del *Agave americana* L.

El Agrimy-Qú se prepara pesando en una balanza 5 gramos y luego se diluye en agua llevándolo a 10 L de agua. Y se aplica.

La mezcla de Daconil-Scooper MZ, se prepara pesando 5 g de Daconil y 5 g de Scooper MZ, y luego se diluyen en 10 L de agua. Y se aplica.

La mezcla de Terra Qú-Blason Ultra, se prepara pesando 5 g de Terra Qú y 5 g de Blason Ultra, y luego se diluyen en 10 L de agua. Y se aplica.

Se hace la primera aplicación de los tratamientos después de hacer la primera medición de variables de crecimiento. Los cuales fueron aplicados al follaje y raíz; en forma de rocío con una fumigadora de mochila convencional, las fumigaciones se hicieron cada siete días hasta llegar a la fumigación número 27, con los tratamientos de extracto de hojas de Neem, Blanco (agua), *Beauveria bassiana*, Químico (Karate) (k), Químico (Aagrimy-Qú), Químico (Mezcla Daconil-Scooper MZ) y Químico (Mezcla Tena Qú-Blason Ultra); haciendo un total de 27 aplicaciones.

Durante las fumigaciones de los diferentes tratamientos se cuantificaron los insectos dañinos cada 30 días; y cada 90 días se cuantificaron azúcares.

8.4 Variables de Crecimiento

Las variables de crecimiento a medir de las plántulas de Agave americana L. son: Altura de la planta, diámetro de la planta, número de hojas totales, Número de hojas dañas, Porcentaje de daño de la planta y el tipo de daño a la planta.

Se midieron a partir del primer día antes de que se empiece a aplicar los tratamientos; luego de realizar la aplicación se medirán las variables cada 30 días, hasta llegar a los 270 días.

La longitud de la planta se determinó midiendo longitudinalmente desde la base hasta el ápice; el diámetro de la planta se midió de una hoja a otra hoja; y se contabilizó el número de hojas que contenía cada plántula (contabilizándose también las que están dañadas) (Montes et al, 2008).

8.5 Medición de Azúcares

Para determinar el efecto de los tratamientos sobre la concentración de azúcares se tomaron muestras de tallos y hojas cada 90 días, completado en total de 270 días en mediciones.

Los datos que se obtienen se van ingresando en una base de datos en Excel, para llevar un registro para su posterior análisis estadístico.

CAPÍTULO IX. Resultados y discusión

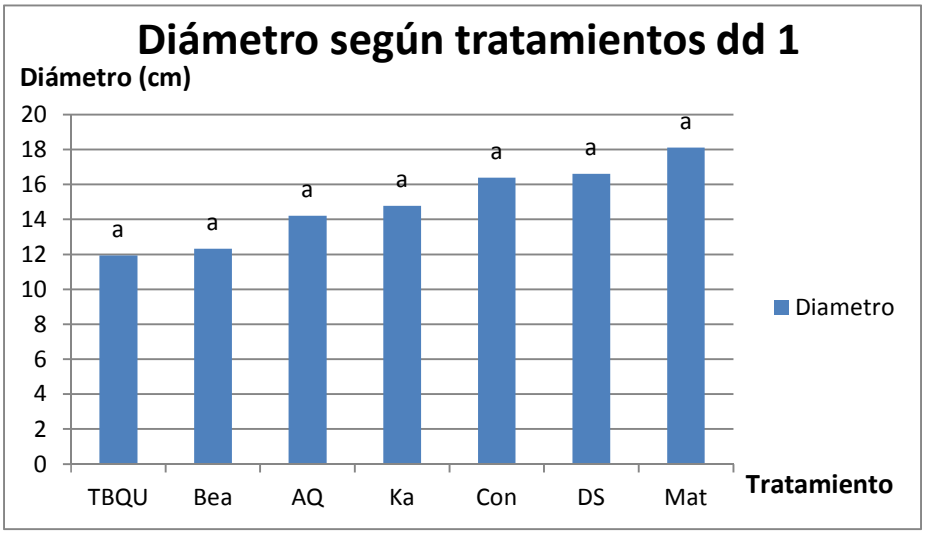


Figura 24 Análisis estadístico de la variable Diámetro respecto a cada tratamiento en el día 1 del experimento. Método Tukey al 95% de confianza (Letras iguales= no hay diferencia estadística significativa).

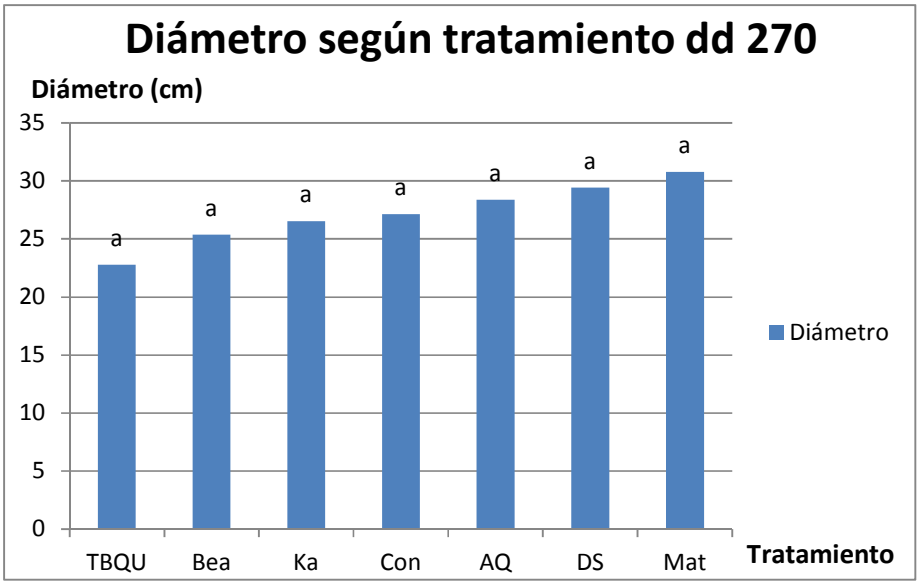


Figura 25 Análisis estadístico de la variable Diámetro respecto a cada tratamiento en el día 270 del experimento. Método Tukey al 95% de confianza (Letras iguales= no hay diferencia estadística significativa).

El análisis estadístico de la variable del diámetro de la planta muestra que no hay diferencia estadística significativa entre los tratamientos ni al inicio (Figura 24) ni al final (Figura 25) del experimento.

Hubo un incremento del diámetro de aproximadamente 42% en las plantas tratadas con extracto de mata-ratón al final del experimento.

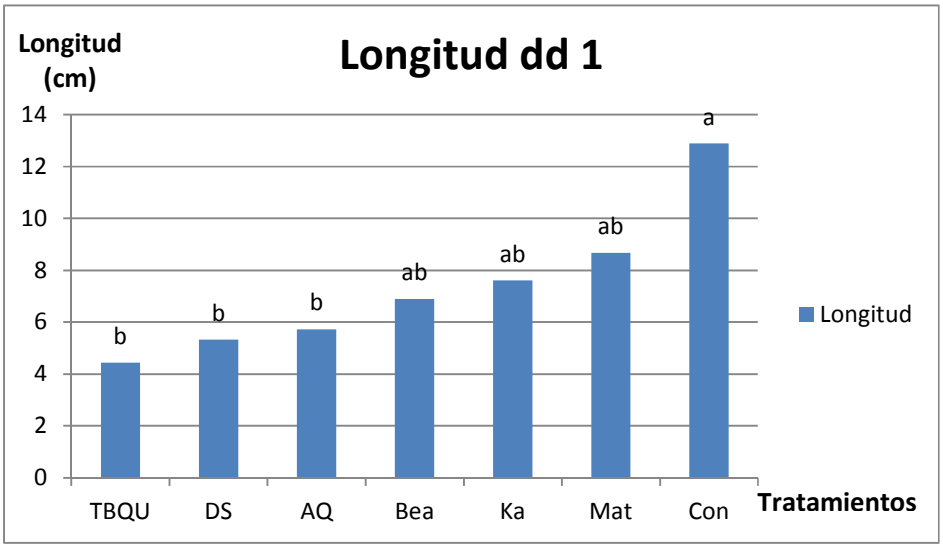


Figura 26 Análisis estadístico de la variable Longitud de la planta respecto a cada tratamiento en el día 1 del experimento. Método Tukey al 95% de confianza (Letras diferentes= hay diferencia estadística significativa).

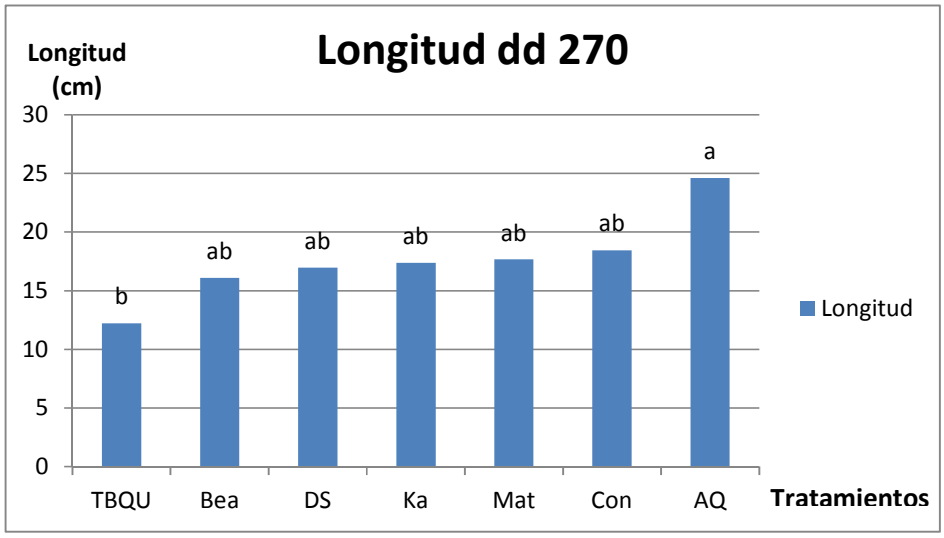


Figura 27 Análisis estadístico de la variable Longitud de la planta respecto a cada tratamiento en el día 270 del experimento. Método Tukey al 95% de confianza (Letras diferentes= hay diferencia estadística significativa).

El análisis estadístico muestra que al inicio del experimento (Figura 26) hubo diferencia esrtadistica significativa de la variable Longitud de la planta entre el Control y los tratamientos Agrimy Qú, mezcla Daconil-Scooper MZ, mezcla Tena Qú-Blasón Ultra. Se muestra también que al final del experimento (Figura 27) hubo diferencia significativa entre el tratamiento Agrimy Qú y la mezcla Tena Qú-Blasón Ultra.

Para el tratamiento que tuvo mayor longitud a los 270 días hubo un incremento de 76% aproximadamente respecto al mismo tratamiento en el día 1.

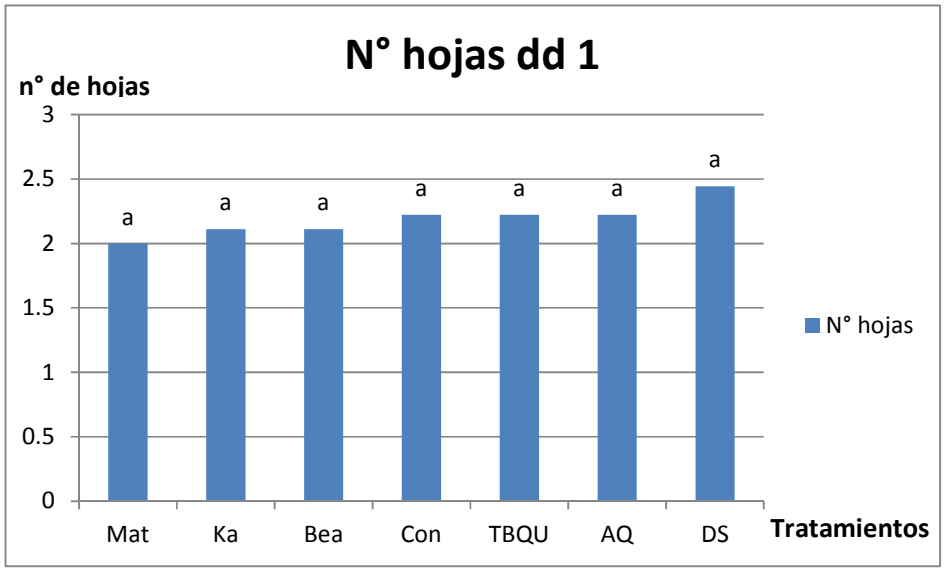


Figura 28 Análisis estadístico de la variable n° de hojas de la planta respecto a cada tratamiento en el día 1 del experimento. Método Tukey al 95% de confianza (Letras iguales= no hay diferencia estadística significativa).

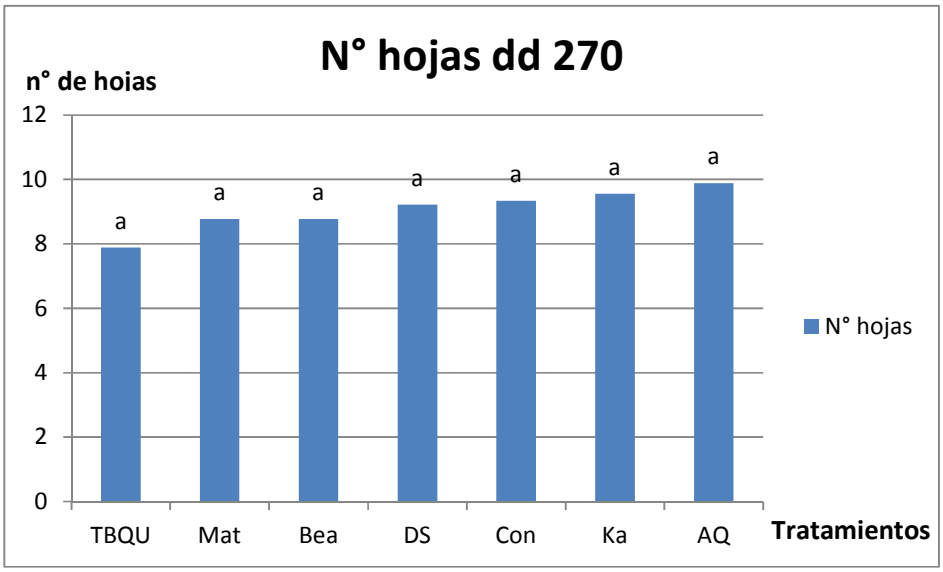


Figura 29 Análisis estadístico de la variable n° de hojas de la planta respecto a cada tratamiento en el día 270 del experimento. Método Tukey al 95% de confianza (Letras iguales= no hay diferencia estadística significativa).

El análisis estadístico muestra que tanto al inicio como al final del experimento no hubo diferencia estadística significativa en la variable n° de hojas de la planta entre todos los tratamientos.

Hubo un incremento del 75% aproximadamente en el numero de hojas de las plantas con el tratamiento Agrimy Qú, que fue el que tuvo mayor numero de hojas al final del experimento.

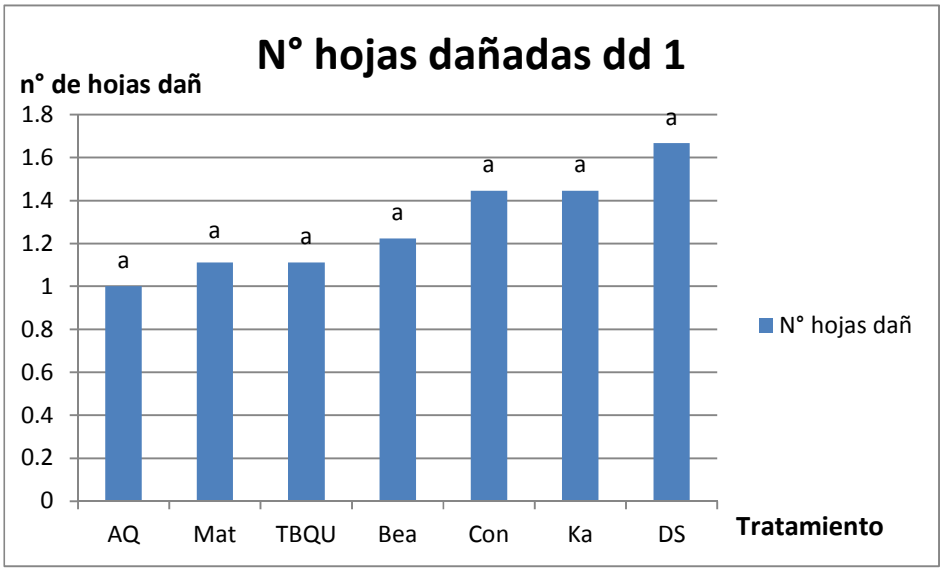


Figura 30 Análisis estadístico de la variable n° de hojas dañadas de la planta respecto a cada tratamiento en el día 1 del experimento. Método Tukey al 95% de confianza (Letras iguales= no hay diferencia estadística significativa).

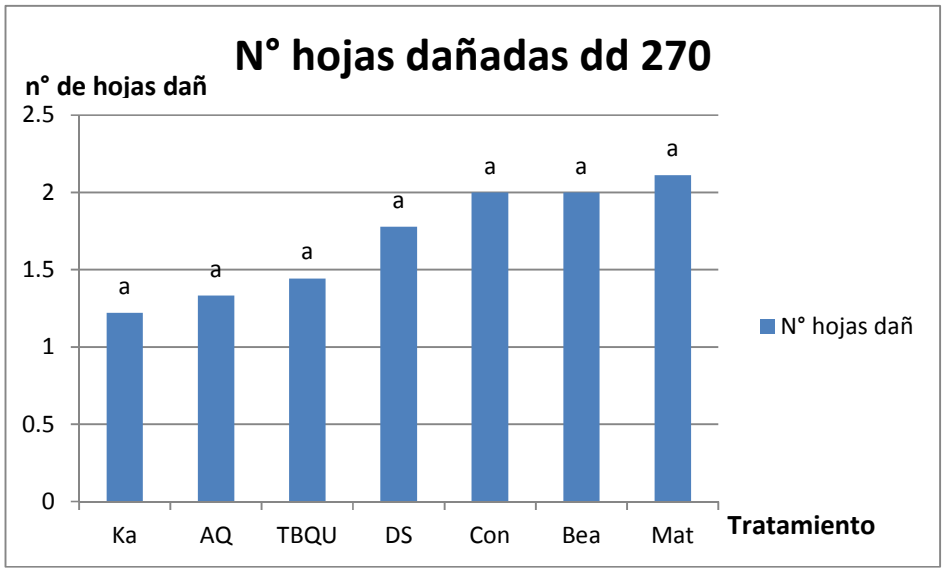


Figura 31 Análisis estadístico de la variable n° de hojas dañadas de la planta respecto a cada tratamiento en el día 270 del experimento. Método Tukey al 95% de confianza (Letras iguales= no hay diferencia estadística significativa).

El análisis estadístico muestra que tanto en el da 1 como en el día 270 no hubo diferencia significativa de la variable n° de hojas ente todos los tratamientos.

Hubo un aumento de 32% aproximadamente en el número de hojas dañadas en las plantas tratadas con mata-ratón, que es el tratamiento que mas hojas dañadas presento al final del experimento.

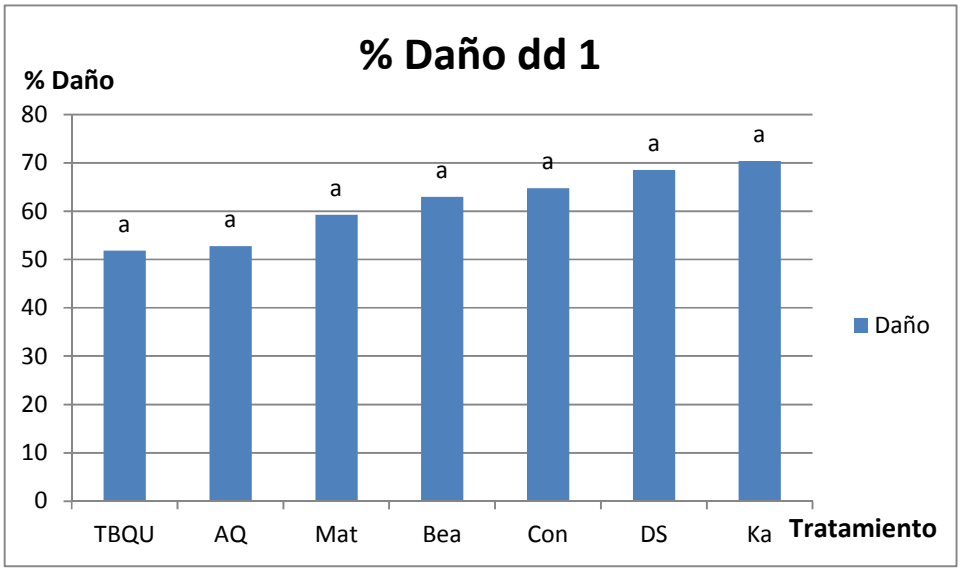


Figura 32 Análisis estadístico de la variable % de daño de la planta respecto a cada tratamiento en el día 1 del experimento. Método Tukey al 95% de confianza (Letras iguales= no hay diferencia estadística significativa).

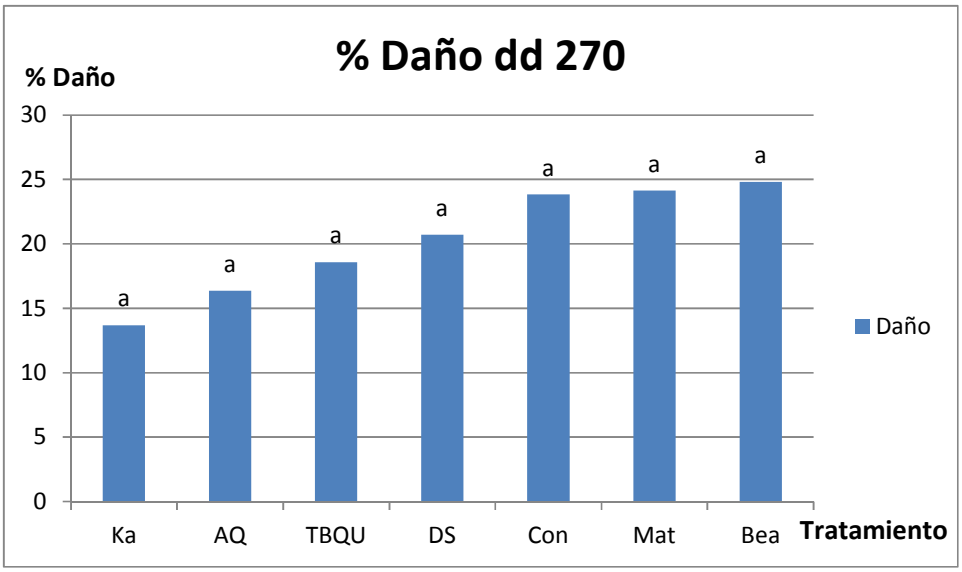


Figura 33 Análisis estadístico de la variable % de daño de la planta respecto a cada tratamiento en el día 270 del experimento. Método Tukey al 95% de confianza (Letras iguales= no hay diferencia estadística significativa).

El análisis estadístico muestra que no hay diferencia estadística significativa en la variable % de daño para ninguno de los tratamientos al inicio y al final del experimento.

El tratamiento Karate presenta una reducción del 80% en la variable %de daño, lo cual indica que fue el mas efectivo.

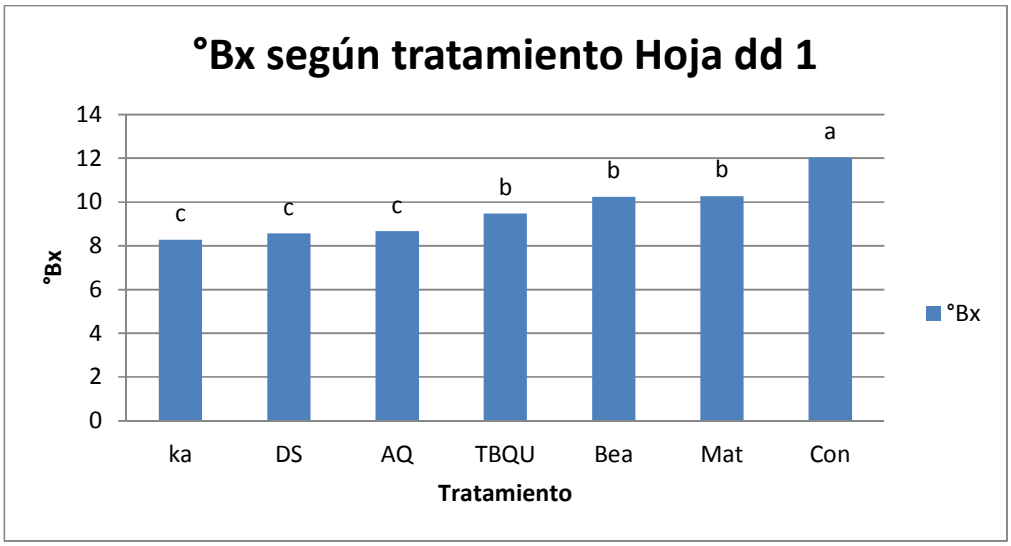


Figura 34 Análisis estadístico de la variable °Brix de las hojas de la planta respecto a cada tratamiento en el día 1 del experimento. Método Tukey al 95% de confianza (Letras diferentes= hay diferencia estadística significativa).

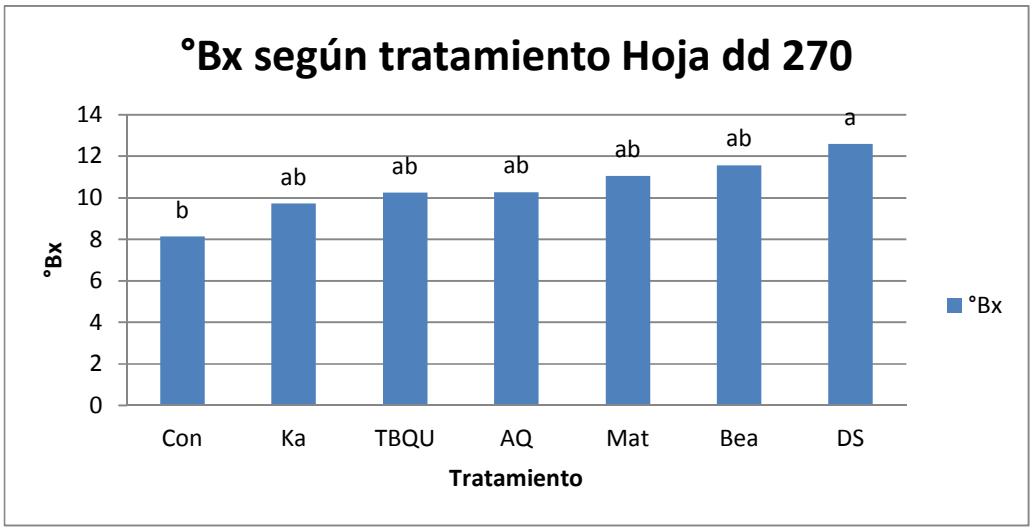


Figura 35 Análisis estadístico de la variable °Brix de las hojas de la planta respecto a cada tratamiento en el día 1 del experimento. Método Tukey al 95% de confianza (Letras diferentes= hay diferencia estadística significativa).

El análisis estadístico muestra que en la variable °Brix de las hojas hay diferencia significativa entre los tratamientos Control con los otros tratamientos. Esto es al inicio del experimento. Al final del experimento hubo diferencia significativa entre la mezcla Daconil-Scooper MZ y el control

Se presenta un incremento de 33.3% para la variable °Bx en el Control, colocándolo como el mejor tratamiento.

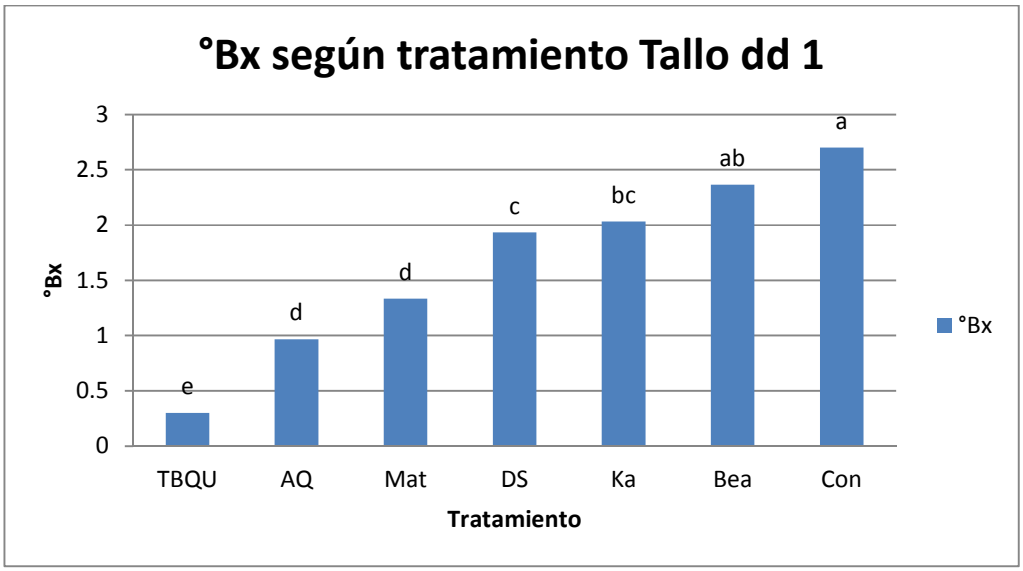


Figura 36 Análisis estadístico de la variable °Brix del tallo de la planta respecto a cada tratamiento en el día 1 del experimento. Método Tukey al 95% de confianza (Letras diferentes= hay diferencia estadística significativa).

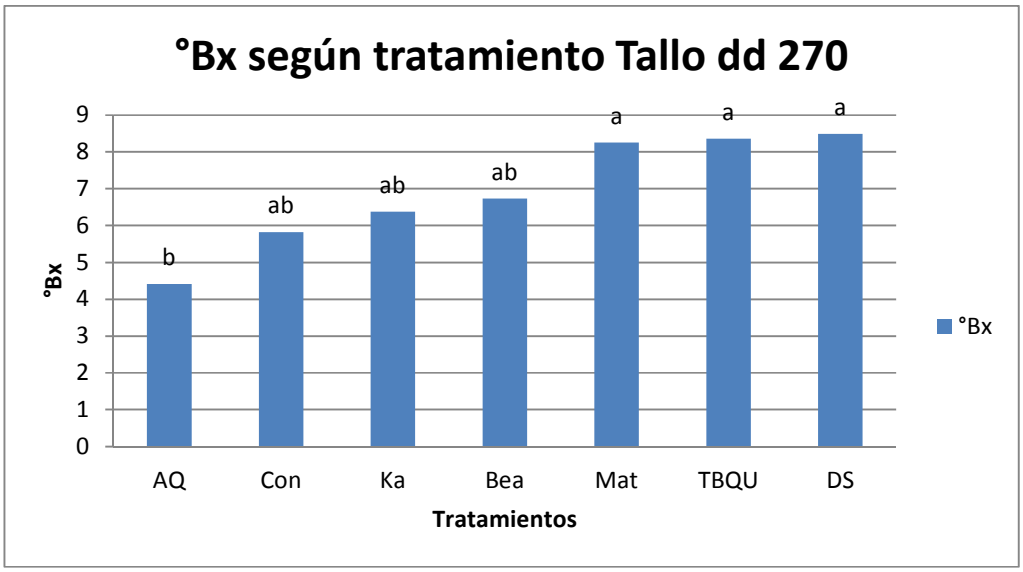


Figura 37 Análisis estadístico de la variable °Brix del tallo de la planta respecto a cada tratamiento en el día 270 del experimento. Método Tukey al 95% de confianza (Letras diferentes= hay diferencia estadística significativa).

El análisis estadístico muestra que al inicio del experimento hay diferencia estadística significativa en cuanto a la variable °Brix en el tallo, entre todos los tratamientos, excepto *Beauveria bassiana*. Al final del experimento hay diferencia significativa entre Agrimy Qú y los tratamientos Mata-ratón, mezcla Tena Qú-Blason Ultra y mezcla Daconil-Scooper MZ.

Hubo un incremento de 77% para el tratamiento Daconil-Scooper MZ

Montes *et al.*, (2008) reportaron que el extracto de mata-ratón es efectivo para el control de la plaga de la mosquita blanca en cultivos de tomate, del gusano cogollero en maíz.

Walpers (1842), indica que el mata-ratón puede ser usado como insecticida.

El estudio estadístico realizado indica que en la variable donde hay diferencia significativa es en la variable longitud de la planta, donde el tratamiento más sobresaliente es el Agrimy Qú, con un incremento del 76% con respecto al valor obtenido al principio del experimento

Las demás variables de crecimiento no presentan diferencia estadística significativa entre ningún tratamiento, pero cabe destacar que hubo aumento en los valores de los tratamientos aplicados. Así para la variabe de Diametro hubo un incremento de 42% aproximadamente; en la variable del número de hojas hubo un incremento de aproximadamente el 75%; en la variable del numero de hojas dañadas hubo un incremento del 32%; en el porcentaje de daño se destaca al Karate como el tratamiento efectivo ya que produjo una reducción del daño en aproximadamente 80% de los valores iniciales.

En la variable de °Bx en las hojas, se observa que el control sufre un descenso de sus valores al final del experimento, esto probablemente se debe a que el metabolismo de las hojas ha acelerado por lo que debe consumir mas energía para llevar a cabo sus reacciones bioquímicas. En tanto que en el tallo hubo un aumento de aproximadamente 58%, esto es probable que se deba a que en el tallos se están empezando a acumular los azucares de reserva para el crecimiento de la planta, lo cual explicaría porque en las hojas se redujo la cantidad de azúcar y en el tallo aumento.

CAPÍTULO X. Conclusiones y recomendaciones

10.1 Conclusión

El extracto de las hojas de mata-ratón no presenta la efectividad que se deseaba, pero aun asi no es una opción que se deba desechar, ya que vimos que propicio el aumento de variables de crecimiento y compite con productos que actualmente hay en el mercado, que auque no supera tal vez a algunos, podría ser una alternativa efectiva en el tratamiento de las plantaciones de *Agave americana* L.

En cuanto a la producción de azucares, se observó que el extracto de mata-ratón aumenta la cantidad de azucares de reserva para la planta, y mantiene los azucares en las hojas, que aunque no los aumenta en gran medida, propicia la generación adecuada para cumplir con los requerimientos energéticos diarios de la planta.

10.2 Recomendaciones

El uso del extracto de mata-ratón podría ser útil en diversas plantaciones, y aunque no se obtuvieron los resultados esperados, se debe continuar con el tratamiento de las plantas con este bioinsecticida, ya que aunque no sea muy poderoso compite con productos químicos que pueden ser dañinos para el ambiente y en este caso es menos toxico.

CAPÍTULO XI. Referencias Bibliográficas

Solís J, Gonzáles H y Leyva J (2001) Scyphophorus acupunctatus Gyllenhal, Plaga del Agave Tequilero en Jalisco, México. Agrociencia Volumen 35, Número 6.

ASERCA (2000). Agave Tequilero; Pencas que abrasan al mundo. Revista "Claridades Agropecuarias" editada por Apoyos y Servicios a la Comercialización Agropecuaria.

Lincoln T y Zeiger E (2006). "Secondary Metabolites and Plant Defense". *Plant Physiology, Fourth Edition*. Capítulo 13.

Morris P, Robbins MP (1997). "Manipulating condensed tannins in forage legumes" BD Mc.Kersie, DCW Brown (editores). *Biotechnology and the improvement of Forage Legumes*, CAB International, Wallingford, Oxon, UK. pp. 147-173

Aizaga SE, Ezcurra E, Peters F & Vega E (2000) Pollination ecology of *Agave macroacantha* (*Agavaceae*) in a Mexican Tropical Desert. I. Floral Biology and Pollintaion Mechanisms. American Journal of Botany. 87(7): 1004-1010.

Secretaría de Economía (2009). Estudio de territorialidad del agave para la integración y proyección de la industria elaboradora de comiteco. San Cristóbal de Las Casas, Chiapas. Secretaría de Economía.

Arizaga S y Ezcurra E (1995) Insurance against reproductive failure in a semelparous plant: bulbil formation in Agave macrocantha flowering stalks. Oecologia 101:329-334.

Badui DS (1988) Diccionario de Tecnología de los alimentos. Ed. Alhambra pp. 65

Badui DS (1997) Química de los alimentos. Tercera edición, quinta reimpresión. 45-117

Boston Society of Natural History (1866-1869) Memoirs read before the Boston Society of Natural History. Vol I

Carpita NC, Kanabus J, Houstey T (1996). Basic fructan info. Plant call. 8:1461-1463

CESAVEG (2008) Campaña de manejo fitosanitario del agave tequilero. 8-20

Considine MD y Considine GD (1982) Foods and Food Production Encyclopedia. Ed. Van Nostrand Reinhold Company. 418.

Potter NN (1995) La ciencia de los alimentos. Ed. Harla. 561

Arrazola DF de M (1969) Estudio del contenido de azucares en la piña de A*gave tequilana*. 4-5.

Waring G, Smith R (1986) Natural history and ecology of Scyphophorus acupunctatus (Coleoptera: Curculionidae) and its associated microbes in cultived and native agaves. Ann Entomol Soc Am 79:334-340.

Fucikovsky L, Velázquez J (2002) Complex bacterial, fungal and insect invasion of Agave tequilana Weber var. Azul in México. (Resumen en Línea). III. International Bacterial Wilt Symposium. (ABSTRACT). En: http://ibws. nexenservices.com/RSA%20Programm/Monday_poster.htm

Fucikovsky L (1999) La tristeza y muerte del Agave (TMA) importante enfermedad del Agave tequilana Weber var. Azul. Avances en la Investigación 1999. En: http://www. colpos.mx/ifit/entarcar/avances/017.html.

Vaurie P (1971). Review of Scyphophorus (Curculionidae: Rhynchophorinae). Coleopterists Bull 25(1):1-8.

García-Mendoza AJ (1998) Con Sabor a Maguey, guía de la colección nacional de Agaváceas y Nolináceas del Jardín Botánico del Instituto de Biología, UNAM. Instituto de Biología, UNAM. Sistemas de Información Geográfica, S.A. de C.V. 114 pp.

García-Mendoza AJ (2004) Agaváceas, en García-Mendoza, A.J., M.J. Ordoñez y M. Briones-Salas (eds.), Biodiversidad de Oaxaca, pp. 159-169, Universidad Nacional Autónoma de México-Fondo Oaxaqueño para la Conservación de la Naturaleza-World Wildlife Fund, México, D.F.

Eguiarte LE, Souza V y Silva-Montellano A (2000) Evolución de la familia Agavaceae: filogenia, biología reproductiva y genética de poblaciones. Boletín de la Sociedad Botánica de México 66: 131- 150.

García-Mendoza AJ (2011) Agaváceas, Flora del Valle de Tehuacán, Fascículo 88, Universidad Nacional Autónoma de México, México, 95 pp.

Valenzuela ZAG (1995) La agroindustria del agave tequilero Agave tequilana Weber. Bol. Soc. Bot. México 55:15-25. México

CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y enseñanza) (1986). Silvicultura de especies promisorias para producción de leña en América Central. 86: 227.

Glover NL (1986) *Gliricidia sepium* (Jacq.) Steud germplasm collection, conservation and evaluation. 69p.

Hughes CE (1987) Biological considerations on designing a seed collection strategy for *Gliricidia sepium* (Jacq.) Walp. (leguminosae). 66(1): 31-48.

National Academy of Sciences (NAS) (1984) Especies para leña: árboles y arbustos para la producción de energía. CATIE. 344p.

Salazar FR (1988) Propagation of *Gliricidia sepium*. CATIE. 9p.

González HH, Del Real Laborde JI y Solís AJF (2007) Manejo de plagas del agave tequilero. 123 p. CP-Tequila Sauza.

Luna HG (2003) "Guía fitosanitaria del cultivo del agave". Ed. Agroentorno. México. 115 p.

Granados SD (1993) Los agaves en México. Universidad Autónoma de Chapingo. México. 112-113.

Téllez MP (1988) "El cocimiento, una etapa importante en la producción del tequila". Bebidas mexicanas. 7(1): 19-20.

Mounir J & Slah M (2011) A Study of the Physical ans Mechanical Properties of Paper Made from *Agave americana* L. Fibers. Materials and Manufacturing Processes.26:567-572.

Montes-Molina JA y Dendooven L (2010) Efecto de extractos de neem (Azadirachta indica), mata-rat6n (Gliricidia sepium) y Beauveria bassiana, sobre la mosquita blanca (Bemisia tabaci) en cultivo de tomate (Solanum esculentum).

Dirección General de Extensión Agropecuaria MAG (1965) La Cabuya, cultivo e industrialización. pp8.

TUTIN TG (1980) Flora Europaea vol. 5. Cambridge University Press. Cambridge.

VALDÉS B, TALAVERA S & FERNÁNDEZ-GALIANO E (eds.) (1987) Flora Vascular de Andalucía Occidental, Barcelona.

ROCHA M, VALERA A & EGUIARTE LE (2005) Reproductive ecology of five sympatric Agave Littaea (Agavaceae) species in Central Mexico. American Journal of Botany 92(8): 1330-1341.

Rosa MF, Vieira AM, Bartolomeu ML (1986) Production of high concentration of etanol from mash, juice and pulp of Jerusalem artichoke tubers by *Kluyveromices fragilis*. Enzyme Microb. Technol. 8: 673-676.

Rodríguez GB, Gutiérrez MA & Santacruz RF (1996) Métodos de propagación Abiotecnológicos y convencionales en agaváceas para zonas áridas. Pp57-86.

Sobarzo PD (2008) El rescate del agave comiteco. El faro, VIII (87), 7-9. Subsecretaría de Comercialización, Secretaría Del Campo. (2010). Proyecto productivo del agave comiteco. San Cristobal de las Casas, Chiapas: Secretaria del Campo.

Walpers W G (1842). *Repertorium Botanices Systematicae* (Vol. 4).

12.1 Referencias Informáticas

Aragón (2005)
http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lcf/perez_g_le/capitulo4.pdf

Bizer C (2008) "Agave americana" www.dbpedia.org/resource/Agave_americana

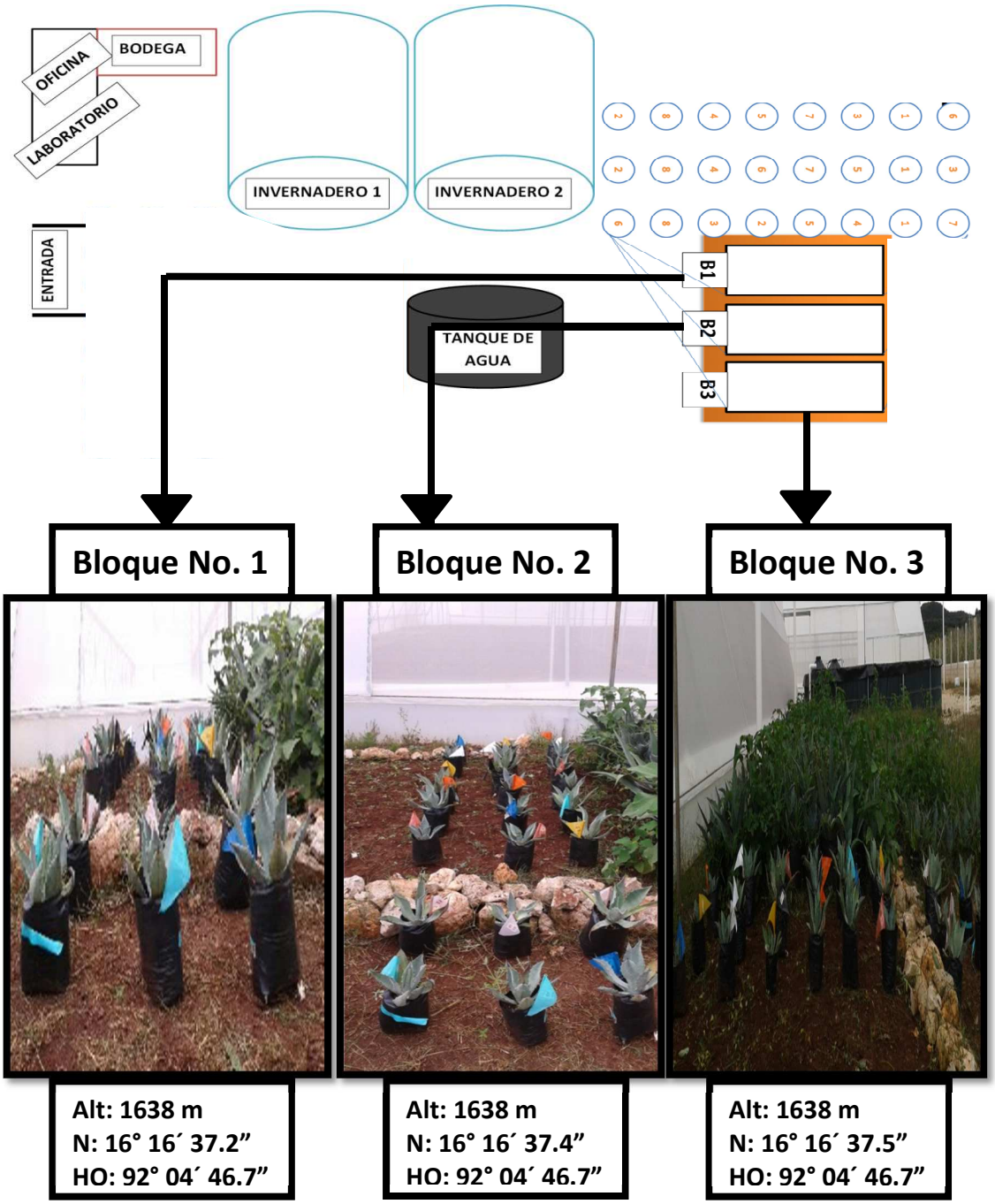
Wesche EP (2000) Química de alimentos de origen vegetal. http://webserver.pue.udlap.mx/~pwesche/3.4.html

Hristov A (2004) "Articulo científico sobre Agave americana" www.ciencia.net/VerArticulo/Agave-americana

Rendón L, Méndez A y Terrones L (2007) "El jarabe de Henequén" Revista Fitotecnia Mexicana, 30(4). http://redalyc.uaemex.mx/redalyc/pdf/610/61030414.pdf

CAPÍTULO XII. Anexos

En la siguiente imagen se esquematiza la localización de los bloques de plántulas de agave a experimentar.



Para la obtensión d las muestras de hoja y tallo de las plántulas del agave, se utilizaron sacabocados proporcionados por el laboratorio ambiental del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez.

Después de la obtención de las muestras de tallo y hoja del agave; se media la cantidad de azucares con un refractómetro digital Marca KRÜSS (DR 301-95), proporcionado por el Dr. Joaquín Adolfo Montes Molina.